



TUGAS AKHIR – TM145502

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR TEMPERING
YANG DIIKUTI PROSES PEENING TERHADAP SIFAT
MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA SM490 YANG
DIGUNAKAN PADA UNDERFRAME KERETA API**

Ghifari Akmal Salsabila
NRP 1021140000022

Dosen Pembimbing 1
Ir. Eddy Widiyono, M.Sc.
19601025 198701 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN INDUSTRI
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018



TUGAS AKHIR – TM145502

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR
TEMPERING YANG DIIKUTI PROSES
PEENING TERHADAP SIFAT MEKANIK
DAN STRUKTUR MIKRO BAJA SM490 YANG
DIGUNAKAN PADA UNDERFRAME
KERETA API**

Ghifari Akmal Salsabila
NRP 10211400000022

Dosen Pembimbing
Ir. Eddy Widiyono, M.Sc.
19601025 198701 1 001

Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



FINAL PROJECT – TM145502

**THE EFFECT OF TEMPERING VARIATION
FOLLOWED IN PEENING PROCESS TO
MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL
PROPERTIES ON SM490 STEEL USED IN TRAIN
UNDERFRAME**

Ghifari Akmal Salsabila
NRP 10211400000022

Advisor
Ir. Eddy Widiyono, M.Sc.
19601025 198701 1 001

Industrial Mechanical Engineering Department
Faculty Of Vocational
Institute Technology Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR TEMPERING TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA SM490 YANG DIGUNAKAN PADA UNDERFRAME KERETA API

TUGAS AKHIR

**Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada Bidang Studi Manufaktur
Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

**Ghifari Akmal Salsabila
NRP. 10211400000022**

Disetujui oleh:

Dosen Pembimbing

**Ir. Eddy Widiyono, M.Sc.
NIP. 19601025 198701 1 001**

SURABAYA, Januari 2018

PENGARUH VARIASI TEMPERATUR TEMPERING YANG DIKUTI PROSES PEENING TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA SM490 YANG DIGUNAKAN PADA UNDERFRAME KERETA API

Nama Mahasiswa : Ghifari Akmal Salsabila
NRP : 10211400000022
Jurusan : Departemen Teknik Mesin Industri
Fakultas Vokasi - ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Eddy Widiyono, M.Sc

Abstrak

Salah satu jenis baja yang digunakan dalam pembuatan underframe kereta api yang dibuat oleh PT. INKA adalah baja SM490. Spesifikasi baja ini dipilih karena memiliki kadar karbon yang rendah, sehingga hal ini sangat mendukung proses pemesinan yang akan dilakukan dalam pembuatan underframe.

Dalam pembuatan underframe kereta api baja yang digunakan disambung dengan menggunakan las. Pengelasan ini membuat baja memiliki tegangan sisa yang diakibatkan oleh adanya distorsi atau deformasi. Untuk mengembalikan deformasi tersebut dilakukan dengan cara reforming / forging. Proses reforming ini diharapkan tidak merubah sifat mekanik material secara signifikan. Selanjutnya untuk mengetahui berapa nilai temperatur yang sesuai agar proses reforming tidak merubah sifat mekanik secara signifikan maka dilakukan penelitian mengenai pengaruh reforming terhadap kekuatan impak dan kekuatan tarik pada baja SM490 dengan tiga variasi suhu yaitu 400°C, 600°C dan 800°C.

Dari data pengujian impak pada benda kerja dengan tempering 600°C, merupakan temperatur yang paling tepat untuk melakukan reforming dengan kekuatan impak sebesar 2,096 J/mm². Pada pengujian kekerasan material dengan suhu tempering 800°C adalah yang paling mendekati kekerasan material awal dengan nilai kekerasan 93,6 HRB. Dari data

struktur mikro pengujian metalografi suhu tempering yang paling mendekati struktur mikro material awal adalah suhu 800°C dengan presentase struktur mikro martensit 20%, pearlite 37% dan ferrite 43%.

Kata kunci : SM490, kekuatan impak, kekerasan, struktur mikro dan reforming

THE EFFECT OF TEMPERING VARIATION FOLLOWED IN PEENING PROCESS TO MICROSTRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES ON SM490 STEEL USED IN TRAIN UNDERFRAME

Student Name : Ghifari Akmal Salsabila
ID Number : 10211400000022
Department : Industrial Mechanical Engineering
Advisor : Ir. Eddy Widiyono, M.Sc

Abstract

One type of steel that used in the manufacture of train underframes made by PT. INKA is steel SM490. This steel was chosen because it has low carbon content which really useful for the machining process that will be done at the underframe fabrication. Moreover, with the low content of carbon on SS400 steel, the steel will be ductile.

In the fabrication of the train underframe, deformation often occur right after the welding process is done. In order to recover the part that deformation, the deformed part should be reformed. This reforming process is expected not to change the mechanical properties of the material significantly. Furthermore, in order to know the value of needed temperature so that the reforming process will not change its micro structure significantly, a research about the effect of reforming to impact and tensile strength on SS400 steel with 3 temperature variations 400°C, 600°C and 800°C has been done.

From the impact test data on the test piece with 600°C tempering temperature, it is the most appropriate temperature to do the reforming with a impact strength of 2.096 J / mm². On hardness testing the material with tempering temperature of 800 ° C is the closest to the hardness of the initial material with a hardness of 93.6 HRB. From microstructure data of temperature metallographic tempering temperature most closely related to micro structure of the initial material is the

testpiece with tempering temperature of 800°C with percentage of micro martensite structure 20%, pearlite 37% and ferrite 43%.

Keywords : SM490, impact strength, hardness, microstructure and reforming

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat-NYA, sehingga penyusunan tugas Akhir yang berjudul :“ **PENGARUH VARIASI TEMPERATUR TEMPERING YANG DIIKUTI PROSES PEENING TERHADAP SIFAT MEKANIK DAN STRUKTUR MIKRO BAJA SM490 YANG DIGUNAKAN PADA UNDERFRAME KERETA API**” dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS untuk bisa dinyatakan lulus.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini, penulis berusaha menerapkan ilmu yang didapat selama menjalani perkuliahan di Teknik Mesin Industri. Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis yang senantiasa memberi dukungan moril dan materil.
2. Bapak Dr. Heru Mirmanto, ST, MT selaku Kepala Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS. Terima kasih atas segala bantuan dan motivasinya.
3. Bapak Ir. Suharyanto, MT selaku koordinator Tugas Akhir.
4. Bapak Ir. Eddy Widiyono, M.Sc selaku dosen pembimbing yang selalu memberikan bimbingan, saran dan masukan saat mengerjakan Tugas Akhir ini sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir ini tepat pada waktunya.
5. Tim dosen penguji yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran dalam rangka perbaikan tugas akhir ini.

6. Segenap Bapak/Ibu Dosen Pengajar dan Karyawan di Departemen Teknik Mesin FV-ITS, yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di kampus ITS.
7. Teman teman dari Laboraturium Metalurgi (Ipul, CL, Elmo, Fahmi dan Ikke) yang selalu memberikan semangat, dukungan serta motivasi dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Partner Usaha warung dan pelanggan setia kedai kopi #117, yaitu; Dendra, Apin, Ciscus, Fateh, Izzul, Abas, Istiqlal, amin, ardian, bendoyo, dimas kacong, kakek legend, dan pelanggan lain yang tidak bisa disebutkan satu persatu.
9. Sahabat kos Rosyid, Azis, Sandi, Azzin, Aditya, Ilham Kuncoro, Dan Otta yang senantiasa membantu dalam penyusunan laporan.

Penulis menyadari sepenuhnya, bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya Departemen Teknik Mesin Industri FV-ITS.

Surabaya, Januari 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvi

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3

BAB II DASAR TEORI..... 5

2.1 Baja	5
2.1.1 Baja Karbon	6
2.1.2 Diagram Fase Fe-Fe ₃ C	7
2.2 Sifat-Sifat Material	10
2.3 Perlakuan Panas.....	15
2.3.1 Kondisi Setimbang	13
2.3.2 Kondisi Tidak Setimbang.....	14
2.4 Diagram CCT dan TTT	17
2.5 Penempaan	18
2.6 Pengelasan	20
2.6.1 Distorsi Dan Tegangan Sisa	21
2.7 Uji Kekerasan	22
2.8 Uji Metalografi	24
2.8.1 Metode Perhitungan	25
2.8.2 Menghitung Rata-Rata Besar Butir	26

2.7.3 Macam-Macam Struktur Mikro	27
2.8 Uji Impak.....	30
2.8.1 Macam Pengujian Impak.....	31
2.8.2 Uji Impak Metode Charpy	33
2.8.3 Uji Impak Metode Izod.....	34
2.8.4 Macam-Macam Patahan	35
 BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	37
3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian	37
3.2 Bahan	38
3.3 Benda Uji.....	38
3.3.1 Benda Uji Metalografi.....	38
3.3.2 Benda Uji Kekerasan.....	39
3.3.3 Benda Uji Impak	39
3.4 Prosedur Laku Panas	40
3.4.1 <i>Hardening</i>	40
3.4.2 <i>Tempering</i>	40
3.5 Peralatan dan Pengujian	40
3.5.1 Peralatan dan Uji Metalografi	40
3.5.2 Peralatan dan Uji Kekerasan	41
3.5.3 Peralatan dan Uji Impak	42
 BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia	45
4.2 Material Awal.....	45
4.2.1 Uji Impak Material Awal	46
4.2.2 Uji Kekerasan Material Awal.....	47
4.2.3 Uji Metalografi	47
4.3 <i>Hardening</i> (Simulasi Tegangan Sisa).....	48
4.3.1 Uji Impak Material <i>Hardening</i>	49
4.3.2 Uji Kekerasan Material <i>Hardening</i>	50
4.3.3 Uji Kekerasan Material <i>Hardening</i>	50
4.4 Perlakuan Panas Kembali	51

4.4.1 Uji Impak Material Pemanasan Pada Temperatur 400°C, 600, 800°C	53
4.4.2 Uji Kekerasan Material Pemanasan Pada Temperatur 400°C, 600, 800°C	55
4.4.4 Uji Metalografi Material Pemanasan Pada Temperatur 400°C, 600, 800°C	56
4.5 Pembahasan	59
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	63
5.1 Kesimpulan.....	63
5.2 Saran.....	64

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN
BIODATA PENULIS

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Fe-Fe ₃ C	8
Gambar 2.2 Daerah Temperatur Pemanasan Untuk Annealing Dan Normalising	13
Gambar 2.3 Diagram TTT baja Hypoeutectoid.....	18
Gambar 2.4 <i>Forging</i>	19
Gambar 2.5 Prinsip Kerja Rockwell.....	23
Gambar 2.6 Pantulan Sinar Pada <i>Metalography Test</i>	25
Gambar 2.7Garis Bantu Menghitung Presentase Tiap Struktur Mikro.....	25
Gambar 2.8 Garis Bantu Intercept Counting ASTM E112	26
Gambar 2.9 Struktur Mikro Ferrite.....	27
Gambar 2.10Struktur Mikro Pearlit.....	28
Gambar 2.11 Struktur Mikro Austenit.....	28
Gambar 2.12 Struktur Mikro Cementit.....	29
Gambar 2.13 Struktur Mikro Binite	29
Gambar 2.14 Struktur Mikro Martensit	30
Gambar 2.15 Ayunan Pendulum Pada Uji Impak	32
Gambar 2.16 Pemukulan Pada Metode Charpy.....	34
Gambar 2.17 Pemukulan Pada Metode Izod	35
Gambar 2.18 Hasil Scan Electron Patahan Brittle.....	36
Gambar 2.19 Hasil Scan Electron Patahan Ductile	36
Gambar 3.1 Diagram Alir.....	37
Gambar 3.2 Benda Uji Metalografi.....	38
Gambar 3.3 Benda Uji Kekerasan.....	39
Gambar 3.4 Dimensi Benda Uji Impak	39
Gambar 3.5 Mikroskop Optik	41
Gambar 3.6 Alat Uji Impak.....	43
Gambar 4.1 Pengujian Metode OES	45
Gambar 4.2 Spesimen Hasil pengujian Impak Kondisi Awal ...	46

Gambar 4.3 Spesimen Uji Metalografi.....	47
Gambar 4.4 Hasil Uji Impak Hardening	49
Gambar 4.7 Material pemanasan pada temperatur 400°C, 600, 800°C Setelah Diuji Impak	53
Gambar 4.8 Diagram Energi Impak	54
Gambar 4.9 Diagram Kekuatan Impak.....	55
Gambar 4.10 Diagram Nilai Kekerasan	56
Gambar 4.11 Diagram Presentase Fasa Uji Metalografi Suhu 400°C, 600, 800°C	58
Gambar 4.12 Nilai Grain Size Uji Metalografi	59

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Skala Uji dan Jenis Identor Kekerasan Rockwell.....	22
Tabel 3.1	Komposisi Kimia Baja SM490.....	32
Tabel 4.1	Hasil Uji Komposisi Kimia	45
Tabel 4.2	Data Pengujian Impak Material	46
Tabel 4.3	Data Hasil Energi Impak Material Awal	46
Tabel 4.4	Data Hasil Pengujian Kekerasan Material Awal	47
Tabel 4.5	Data Hasil Uji Struktur Mikro	48
Tabel 4.6	Nilai Besar Butir Struktur mikro kondisi awal	48
Tabel 4.7	Data Proses <i>Hardening</i>	48
Tabel 4.8	Data Hasil Pengujian Impak Material <i>Hardening</i>	49
Tabel 4.9	Data hasil pengujian kekerasan material hardening .	50
Tabel 4.10	Hasil Uji Struktur Mikro <i>Hardening</i>	51
Tabel 4.11	Nilai Besar Butir Struktur Mikro <i>Hardening</i>	51
Tabel 4.12	Data Proses Pemanasan temperatur 400°C	52
Tabel 4.13	Data Proses Pemanasan temperatur 600°C	52
Tabel 4.14	Data Proses Pemanasan Temperatur 800°C	53
Tabel 4.15	Hasil Pengujian Impak Material Pemanasan Pada Temperatur 400°C, 600, 800°C	54
Tabel 4.16	Hasil Pengujian Kekerasan Material Pemanasan Pada Temperatur 400°C, 600, 800°C	56
Tabel 4.17	Hasil Pengujian Metalografi Material Pemanasan Pada Temperatur 400°C, 600, 800°C	57

BAB 1

PENDADHULUAN

1.1 Latar Belakang

PT. INKA merupakan perusahaan BUMN yang bekerja dibidang industri kereta api. Dalam hal pembuatan setiap bagian kereta tentu saja bahan-bahan dalam merakit kereta api tidak lepas dari penggunaan material baja. Salah satu bagian kereta yang belum bisa tergantikan oleh baja yaitu *underframe*. Bagian ini juga memiliki berbagai spesifikasi, salah satunya ialah baja SM490. Baja ini dipilih karena memiliki kekuatan yang tinggi.

Underframe merupakan penyangga gerbong yang digunakan dalam setiap jenis kereta. Agar bisa menyatu dengan bagian-bagian lainnya, baja ini di sambung dengan proses las. Pengelasan ini membuat baja mempunyai tegangan sisa yang diakibatkan oleh adanya distorsi atau deformasi. Untuk mengembalikan deformasi tersebut dilakukan dengan cara *reforming* / *forging*. *Reforming* ini hanya bertujuan untuk merubah bentuk material yang mengalami deformasi, tanpa merubah sifat mekanik material. Proses ini dilakukan dengan cara memanaskan baja dengan menggunakan blander sampai suhu baja tersebut mencapai kurang lebih 600°C. Setelah baja mencapai suhu tersebut selanjutnya baja ditempa dengan menggunakan hammer lalu didinginkan dengan menggunakan air. Hal ini tentunya akan mempengaruhi struktur mikro, kekerasan, dan kekuatan impak material yang mengalami proses *reforming*.

Oleh karena itu, dalam penelitian kali ini akan dilakukan analisa baja SM490 untuk mengetahui pengaruh *reforming* dengan tujuan mengembalikan bentuk material yang mengalami deformasi. Analisa dilakukan untuk menguji perubahan struktur mikro, kekerasan, dan kekuatan impak material yang mengalami *reforming*. Serta untuk mengetahui temperatur pemanasan yang tepat saat melakukan proses *reforming* agar tidak ada perubahan signifikan dari material awal.

1.2 Perumusan Masalah

Dengan adanya latar belakang yang mendorong adanya tugas akhir ini, maka ada beberapa rumusan masalah yang muncul agar sesuai dengan yang penulis inginkan. Diantara rumusan tersebut adalah:

- 1) Bagaimana struktur mikro material baja SM490 yang telah *direforming* ?
- 2) Bagaimana hasil kekerasan material baja SM490 yang telah *direforming* ?
- 3) Bagaimana hasil *impact strength* material baja SM490 yang telah *direforming* ?
- 4) Berapa temperatur pemanasan yang tepat untuk melakukan *reforming* agar kekuatan impak, nilai kekerasan dan struktur mikro material tidak berubah secara signifikan dari material awal ?

1.3 Batasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil penelitian yang sesuai dengan tingkat ketelitian yang diharapkan, maka disusun batasan masalah guna memperjelas arah dan mengendalikan model sistem yang akan dicapai, yaitu sebagai berikut :

- 1) Pengaruh lingkungan diabaikan
- 2) Suhu air yang digunakan untuk pendinginan adalah 30°C.
- 3) Perubahan suhu media pendingin diabaikan.
- 4) Gaya forging dianggap sama

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin didapat pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Mengetahui struktur mikro material baja SM490 yang telah *direforming*.
- 2) Mengetahui kekerasan baja SM490 yang telah *direforming*.
- 3) Mengetahui hasil *impact strength* baja SM490 yang telah *direforming*.

- 4) Mengetahui temperatur pemanasan yang tepat untuk melakukan *reforming* agar kekuatan impak, nilai kekerasan dan struktur mikro material tidak berubah secara signifikan dari material yang tidak *direforming*.

1.5 Manfaat Penelitian

Berbagai manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1.5.1 Bagi Mahasiswa

Mahasiswa dapat menerapkan pengetahuan dan teori yang selama ini didapatkan dari pembelajaran di bangku kuliah untuk diaplikasikan pada permasalahan yang ada, dan juga dapat mengetahui bagaimana cara untuk meneliti perlakuan panas terhadap sifat mekanik.

1.5.2 Bagi Industri

Dengan dilaksanakan penelitian ini didapatkan data - data dari pengujian berdasarkan uji melaografi, uji kekerasan dan uji impak maka diharapkan akan diketahui pengaruh temperatur reforming pada baja SM490 yang digunakan sebagai bahan pembuatan underframe kereta api.

1.5.3 Bagi Ilmu Pengetahuan

Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan menambah jumlah referensi bagi peneliti lain yang akan melaksanakan penelitian serupa.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun untuk memberikan gambaran penjelas mengenai bagian – bagian tugas akhir, diantaranya:

- **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini menjelaskan secara singkat tinjauan secara umum mengenai latar belakang, rumusan permasalahan, batasan masalah, tujuan, manfaat, sistematika penulisan dan

- **BAB II DASAR TEORI**

Bab ini menjelaskan beberapa teori penunjang yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

- **BAB III METODOLOGI**

Bab ini menjelaskan metodologi penelitian, diagram langkah penelitian, spesifikasi dan langkah proses pengujian-pengujian yang dilakukan.

- **BAB IV HASIL DAN ANALISA**

Membahas tentang hasil pengujian diantaranya adalah pengujian metalografi, kekerasan, dan pengujian impak.

- **BAB V PENUTUP**

Membahas tentang kesimpulan dari hasil analisis dan saran-saran penulis dalam penyusunan tugas akhir.

- ❖ **DAFTAR PUSTAKA**

Berisi tentang referensi – referensi yang terkait dengan materi pembahasan, berupa buku, jurnal tugas akhir terdahulu, maupun website ya ng dijadikan acuan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

- ❖ **LAMPIRAN**

Berisi tentang data tambahan yang menunjang tugas akhir.

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 Baja

Baja merupakan logam paduan dimana unsur besi (Fe) sebagai unsur dasar dan unsur karbon (C) sebagai paduan utamanya. Kandungan karbon dalam baja berkisar antara 0,008% - 2%, untuk baja yang memiliki kandungan karbon antara 0,008% - 0,8% berat maka disebut dengan baja Hypoeutektoid sedangkan yang memiliki kandungan karbon 0,8% - 2% berat disebut dengan baja Hypereutektoid. Dalam proses pembuatan baja akan terdapat unsur – unsur lain selain karbon yang akan tertinggal didalam baja tersebut dan sulit untuk dihilangkan yaitu Mangan (Mn), Silikon (Si), Chrom (Cr), Vanadium (V), Molibdenum (Mb) dan unsur lainnya.

Dalam hal aplikasi, baja merupakan bagian terpenting dalam kehidupan manusia dan dalam perkembangan teknologi yang sudah ada sampai saat ini baja memiliki peranan terpenting dalam mendukung hal tersebut. Dalam mendukung kehidupan manusia misalnya, alat – alat rumah tangga, perkantoran, perbengkelan dan alat – alat kosmetik yang biasa kita gunakan pasti akan bersentuhan dengan baja. Dan didalam mendukung perkembangan teknologi industri baja berperan dalam hal infrastruktur bangunan dan alat – alat berat yang digunakan. Selain itu baja juga mengalami perkembangan yang cukup signifikan, bahkan dalam hal perkembangan teknologi didunia kesehatan baja berperan dalam membantu pasien – pasien yang mengalami patah tulang guna membantu menyambungkan kembali tulang yang patah tersebut.

Kandungan karbon dalam baja akan menentukan sifat mekanik yang dimiliki oleh baja tersebut khususnya dalam hal kekerasan dan kuat tarik. Adapun sifat mekanik baja pada umumnya memiliki level kuat tarik menengah dengan nilai kuat tarik berkisar antara (200 – 300 MPa atau 30 – 40 ksi) serta dengan

ketangguhan yang baik untuk menghasilkan kekuatan melebihi 1400 MPa (200 ksi) serta nilai fracture toughness sebesar 110 MPa [ASM international,2002].

2.1.1 Baja Karbon

Baja karbon merupakan salah satu jenis baja paduan yang terdiri atas unsur besi (Fe) dan karbon (C). Dimana besi merupakan unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya. Dalam proses pembuatan baja akan ditemukan pula penamabahan kandungan unsur kimia lain seperti sulfur (S), Fosfor (P), Silikon (Si), Mangan (Mn) dan unsur kimia lainnya sesuai dengan sifat baja yang diinginkan. Baja karbon memiliki kandungan unsur karbon dalam besi sebesar 0,2 % hingga 2,14% dimana kandungan karbon tersebut berfungsi sebagai unsur pengeras dalam struktur baja.

Dalam pengaplikasiannya baja karbon sering digunakan sebagai bahan baku untuk pembuatan alat-alat perkakas, komponen mesin, struktur bangunan, dan lain sebagainya. Menurut pendefinisian ASM *handbook* vol.1:148 (1993), baja karbon dapat diklasifikasikan berdasarkan jumlah presentase komposisi kimia karbon dalam baja yakni sebagai berikut :

1) Baja Karbon Rendah

Baja karbon rendah merupakan baja dengan kandungan unsur karbon dalam struktur baja kurang dari 0,3% C. Baja karbon rendah ini memiliki ketangguhan dan keuletan yang tinggi akan tetapi memiliki sifat kekerasan dan ketahanan aus yang rendah. Pada umumnya baja jenis ini digunakan sebagai bahan baku pembuatan komponen struktur bangunan, pipa gedung, jembatan, kerangka kereta, bodi mobil, dan lain sebagainya.

2) Baja Karbon Sedang

Baja karbon sedang merupakan baja karbon dengan presentase kandungan karbon pada besi sebesar 0,3% C – 0,59% C. Baja karbon ini memiliki kelebihan bila dibandingkan baja karbon rendah, baja karbon sedang memiliki sifat mekanis yang lebih kuat dengan tingkat kekerasan yang lebih tinggi daripada baja karbon rendah. Besarnya kandungan karbon yang terdapat dalam besi memungkinkan baja untuk dapat dikeraskan dengan memberikan perlakuan panas (*heat treatment*) yang sesuai. Baja karbon sedang biasanya digunakan untuk pembuatan poros rel kereta api, roda gigi, baut, pegas, dan komponen mesin lainnya.

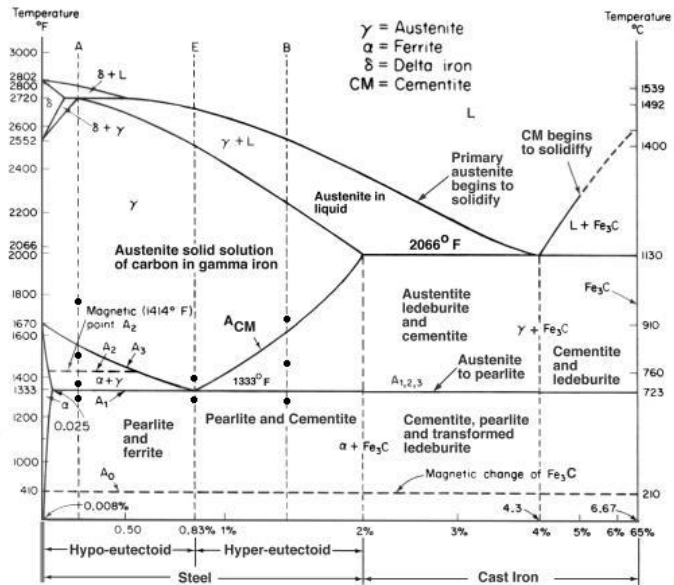
3) Baja Karbon Tinggi

Baja karbon tinggi adalah baja karbon yang memiliki kandungan karbon sebesar 0,6% C – 1,4% C. Baja karbon tinggi memiliki sifat tahan panas, keuletan yang lebih rendah sehingga baja karbon ini menjadi lebih getas. Baja karbon tinggi ini sulit diberi perlakuan panas untuk meningkatkan sifat kekerasannya, hal ini dikarenakan baja karbon tinggi memiliki jumlah martensit yang cukup tinggi sehingga tidak akan memberikan hasil yang optimal pada saat dilakukan proses pengerasan permukaan. Dalam pengaplikasiannya baja karbon tinggi banyak digunakan dalam pembuatan alat-alat perkakas seperti palu, gergaji, pembuatan kikir, pisau cukur, dan sebagainya.

2.1.2 Diagram Fe-Fe₃C

Dalam besi cair karbon dapat larut, tetapi dalam keadaan padat kelarutan karbon dalam besi akan terbatas. Selain sebagai larutan padat, besi dan karbon juga dapat membentuk senyawa interstisial (interstitial compound) ,

eutektik dan juga eutektoid, atau mungkin juga karbon akan terpisah (sebagai grafit). Diagram keseimbangan sistem paduan besi-karbon cukup kompleks, tetapi hanya sebagian yang digunakan yaitu bagian antara besi murni sampai senyawa interstisialnya. Karbida besi Fe_3C yang mengandung 6,67% C. Diagram fase yang banyak digunakan adalah diagram fase besi-karbida besi, atau disebut dengan diagram $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$.



Gambar 2.1 Diagram $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$

Secara garis besar sistem paduan besi-karbon dapat dibedakan menjadi dua yaitu baja dan besi tuang (cast iron). Dari diagram tampak bahwa baja tidak mengandung struktur eutektik, karenanya itu mengapa sifatnya berbeda sekali dengan besi tuang (yang strukturnya eutektik). Nama/istilah yang terdapat pada diagram fase besi-karbida besi dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Cementit adalah karbida besi Fe_3C , merupakan senyawa interstisial mengandung 6,67% C. Sangat keras (± 650 BHN), getas dan kekuatan rendah (± 350 kg/cm²). Struktur Kristal orthorhombik.
- Austenite adalah larutan padat karbon dalam besi γ . Kekuatan tarik ± 1050 kg/cm², kekerasan 40 Rc, ketangguhan tinggi. Biasanya tidak stabil pada temperature kamar.
- Ledeburite adalah suatu eutectic mixture dari austenite dan cementite, mengandung 4,3%C, berbentuk 1130°C.
- Ferrite adalah larutan padat karbon dalam besi α . Kelarutan karbon maksimum 0,025% (pada 723°C), dan hanya 0,008% di temperature kamar. Kekuatan rendah tetapi keuletan tinggi, kekerasan kurang dari 90 RB.
- Pearlite adalah suatu eutectoid mixture dari sementite dan ferrit, mengandung unsur karbon 0,8 %, terbentuk pada temperatur 723°C.
- Lower Critical Temperature (temperature kritis bawah) A1, temperature eutectoid. Pada diagram Fe – Fe_3C tampak berupa garis mendatar di temperature 723°C. Pada temperature ini terjadi reaksi eutectoid.
- Upper Critical temperature (temperatur kritis atas) A3, temperature awal terjadinya perubahan allotropic dari γ ke α (pada pendinginan) atau akhir perubahan allotropic dari α ke γ (pada pemanasan).
- Garis solvus Ac_m merupakan batas kelarutan karbon dalam austenit. Dengan menggunakan diagram keseimbangan memang mungkin dapat diramalkan struktur yang akan terjadi pada suatu paduan (asalkan pada kondisi ekuilibrium atau yang dapat dianggap ekuilibrium), dengan demikian juga akan dapat diramalkan sifatnya.

- 0,008% C = Batas kelarutan maksimum Carbon pada Ferrite pada temperature kamar 0,025% C = Batas kelarutan maksimum Carbon pada Ferrite pada temperature 723°C
- 0,83% C = Titik Eutectoid 2% C = Batas kelarutan Carbon pada besi Gamma pada temperature 1130 Derajat Celcius 4,3% C = Titik Eutectic 0,1% C = Batas kelarutan Carbon pada besi Delta pada temperature 1493 Derajat Celcius.
- Garis Liquidus ialah garis yang menunjukkan awal dari proses pendinginan (pembekuan). Garis Solidus ialah garis yang menunjukkan akhir dari proses pembekuan (pendinginan). Garis Solvus ialah garis yang menunjukkan batas antara fasa padat dengan fasa padat atau solid solution dengan solid solution. Garis Acm = garis kelarutan Carbon pada besi Gamma (Austenite) Garis A3 = garis temperature dimana terjadi perubahan Ferrit menjadi Austenite (Gamma) pada pemanasan.
- Garis A1 = garis temperature dimana terjadi perubahan Austenite (Gamma) menjadi Ferrit pada pendinginan. Garis A0 = Garis temperature dimana terjadi transformasi magnetic pada Cementit. Garis A2 = Garis temperature dimana terjadi transformasi magnetic pada Ferrite.

2.2 Sifat-Sifat Material

Sifat mekanik suatu bahan adalah kemampuan bahan untuk menahan beban – beban yang dikenakan padanya. Beban – beban tersebut dapat berupa beban tarik, tekan, bengkok, geser, puntir, atau beban kombinasi. Sifat – sifat mekanik bahan antara lain :

- 1) Kekuatan (*strength*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa menyebabkan bahan tersebut menjadi patah. Kekuatan ini ada beberapa macam, dan ini tergantung pada beban yang bekerja antara lain dapat

dilihat dari kekuatan tarik, kekuatan geser, kekuatan tekan, kekuatan puntir, dan kekuatan bengkok.

- 2) Kekerasan (*hardness*) dapat didefinisikan sebagai kemampuan bahan untuk tahan terhadap goresan, pengikisan (abrasi), penetrasi. Sifat ini berkaitan erat dengan sifat keausan (*wear resistance*). Dimana kekerasan ini juga mempunyai korelasi dengan kekuatan.
- 3) Kekenyalan (*elasticity*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk yang permanen setelah tegangan dihilangkan. Bila suatu bahan mengalami tegangan maka akan terjadi perubahan bentuk. Bila tegangan yang bekerja besarnya tidak melewati suatu batas tertentu maka perubahan bentuk yang terjadi bersifat sementara, perubahan bentuk ini akan hilang bersamaan dengan hilangnya tegangan, akan tetapi bila tegangan yang bekerja telah melampaui batas, maka sebagian bentuk itu tetap ada walaupun tegangan telah dihilangkan.
Kekenyalan juga menyatakan seberapa banyak perubahan bentuk elastic dapat terjadi sebelum perubahan bentuk yang permanen mulai terjadi, dengan kata lain kekenyalan menyatakan kemampuan bahan untuk kembali ke bentuk dan ukuran semula setelah menerima beban yang menimbulkan deformasi.
- 4) Kekakuan (*stiffness*) menyatakan kemampuan bahan untuk menerima tegangan/beban tanpa mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi) atau defleksi. Dalam beberapa hal kekakuan ini lebih penting dari pada kekuatan.
- 5) Plastisitas (*plasticity*) menyatakan kemampuan bahan untuk mengalami sejumlah deformasi plastis (yang permanen) tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Sifat ini sangat diperlukan bagi bahan yang akan diproses dengan berbagai proses pembentukan seperti, forging, rolling, extruding, dan sebagainya. Sifat ini sering juga

disebut sebagai keuletan/kekenyalan (*ductility*). Bahan yang mampu mengalami deformasi plastis yang cukup tinggi dikatakan sebagai bahan yang mempunyai keuletan/kekenyalan tinggi, dimana bahan tersebut dikatakan ulet/kenyal (*ductile*). Sedang bahan yang tidak menunjukkan terjadinya deformasi plastis dikatakan sebagai bahan yang mempunyai keuletan rendah atau dikatakan getas/rapuh (*brittle*).

- 6) Ketangguhan (*toughness*) menyatakan kemampuan bahan untuk menyerap sejumlah energi tanpa mengakibatkan terjadinya kerusakan. Juga dapat dikatakan sebagai ukuran banyaknya energi yang diperlukan untuk mematahkan suatu benda kerja, pada suatu kondisi tertentu. Sifat ini dipengaruhi oleh banyak faktor, sehingga sifat ini sulit untuk diukur.
- 7) Kelelahan (*fatigue*) merupakan kecenderungan dari logam untuk patah bila menerima tegangan berulang – ulang (*cyclic stress*) yang besarnya masih jauh dibawah batas kekuatan elastisitasnya. Sebagian besar dari kerusakan yang terjadi pada komponen mesin disebabkan oleh kelelahan. Karenanya kelelahan merupakan sifat sangat penting tetapi sifat ini juga sulit diukur karena sangat banyak faktor yang mempengaruhinya.

2.3 Perlakuan Panas

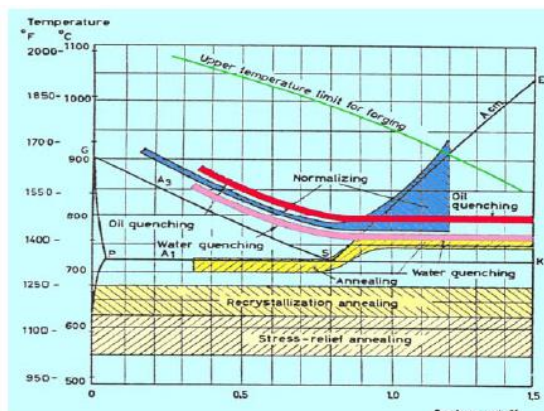
Dari sebuah rangkuman yang ditulis oleh Avner (1974: 676) menyatakan bahwa perlakuan panas (heat treatment) adalah: *“Heating and cooling a solid metal or alloy in such away as to obtain desired conditions or properties. Heating for the sole purpose of hot-working is excluded from the meaning of this defini”*

Perlakuan panas adalah suatu proses pemanasan dan pendinginan logam dalam keadaan padat untuk mengubah sifat-sifat mekaniknya. Baja dapat dikeraskan sehingga tahan aus dan

kemampuan memotong meningkat atau dapat dilunakan untuk memudahkan proses pemesian lanjut. Melalui perlakuan panas yang tepat, tegangan dalam dapat dihilangkan, ukuran butir dapat diperbesar atau diperkecil. Selain itu ketangguhan ditingkatkan atau dapat dihasilkan suatu permukaan yang keras disekeliling inti yang ulet. Untuk memungkinkan perlakuan panas tepat, komposisi kimia baja harus diketahui karena perubahan komposisi kimia, khususnya karbon dapat mengakibatkan perubahan sifat-sifat fisis.

2.3.1 Perlakuan Panas Kondisi Setimbang

Tujuan umum dari perlakuan panas jenis Near Equilibrium ini diantaranya adalah untuk melunakkan struktur kristal, menghaluskan butir, menghilangkan tegangan dalam dan memperbaiki machineability. Jenis dari perlakuan panas Near Equilibrium, misalnya : Full Annealing (annealing), Stress relief Annealing, Process annealing, Spheroidizing, Normalizing dan Homogenizing.



Gambar 2.2 Daerah Temperatur Pemanasan Untuk Annealing Dan Normalising

Dari sedikit penjelasan diatas dapat kita tarik simpulkan bahwa secara umum laku panas dengan kondisi Near Equilibrium itu dapat disebut dengan annealing.

Annealing ialah suatu proses laku panas (heat treatment) yang sering dilakukan terhadap logam atau paduan dalam proses pembuatan suatu produk. Tahapan dari proses Annealing ini dimulai dengan memanaskan logam (paduan) sampai temperature tertentu, menahan pada temperature tertentu tadi selama beberapa waktu tertentu agar tercapai perubahan yang diinginkan lalu mendinginkan logam atau paduan tadi dengan laju pendinginan yang cukup lambat. Jenis Annealing itu beraneka ragam, tergantung pada jenis atau kondisi benda kerja, temperature pemanasan, lamanya waktu penahanan, laju pendinginan (*cooling rate*), dll. Sehingga kita akan mengenal dengan apa yang disebut : Full Annealing (annealing), Stress relief Annealing, Process annealing, Spheroidizing, Normalizing dan Homogenizing.

2.3.2 Perlakuan Panas Kondisi Tidak Setimbang

Tujuan umum dari perlakuan panas jenis Non Equilibrium ini adalah untuk mendapatkan kekerasan dan kekuatan yang lebih tinggi. Jenis dari perlakuan panas Non Equilibrium, misalnya Hardening, Martempering, Austempering, Surface Hardening (Carburizing, Nitriding, Flame hardening, Induction hardening)

1) Hardening

Hardenining merupakan salah satu proses laku panas dengan kondisi *non equilibrium*. *Hardening* dilakuakn dengan memanaskan baja hingga mencapai temperatur austenit. Dipertahankan beberapa saat pada temperatur tersebut, lalu didinginkan dengan cepat sehingga diperoleh martensit yang keras. Kekerasan maksimum yang dapat dicapai setelah proses

hardening banyak tergantung pada kadar karbon, semakin tinggi kadar karbon maka kekerasan yang dicapai semakin tinggi. Pada suatu kondisi pemanasan belum tentu semua karbon dalam baja akan larut didalam austenit, tergantung juga pada tingginya temperatur pemanasan. Oleh karena itu kekerasan yang terjadi setelah proses *hardening* banyak tergantung dari beberapa hal yaitu : tingginya temperatur austenitisasi, laju pendinginan, dan *hardenability* dari baja itu sendiri.

2) Tempering

Baja yang telah dilakuan pemanasan pengerasan akan menghasilkan struktur martensit setelah didinginkan secara cepat (*quenching*). Pada kondisi ini biasanya material menjadi sangat getas, sehingga tidak cukup baik untuk berbagai pemakaian. Pembentukan martensit juga meninggalkan tegangan sisa yang sangat tinggi, oleh karena itu pada umumnya setelah proses pengerasan atau *hardening* kemudian segera diikuti dengan proses pemanasan kembali atau proses tempering. Proses tempering ini dilakukan untuk menghilangkan atau mengurangi tegangan sisa dan mengembalikan sebagian keuletan dan ketangguhannya. Dengan kembalinya sebagian keuletan/ketangguhan ini maka sebagian kekerasan yang telah dicapai pada proses pengerasan akan berkurang.

Suhu pemanasan proses tempering dapat dibedakan sebagai berikut :

1) Tempering suhu rendah

Tempering ini mempunyai suhu pemanasan 150°-300°C. Proses ini tidak akan menghasilkan penurunan kekerasan yang berarti. Tempering pada suhu rendah ini untuk mengurangi tegangan-tegangan kerut dan

kerapuhan dari baja. Biasanya untuk alat-alat potong, mata bor dan sebagainya

2) Tempering suhu menengah

Tempering ini mempunyai suhu pemanasan 300°C - 550°C . Tempering pada suhu sedang bertujuan untuk menambah keuletan dan sedikit menurunkan kekerasan. Proses ini digunakan pada alat-alat kerja yang mengalami beban berat, misalnya pegas palu, dan pahat.

3) Tempering suhu tinggi

Tempering ini mempunyai suhu pemanasan 550°C - 650°C . Tempering pada suhu tinggi bertujuan memberikan daya keuletan yang besar dan sekaligus kekerasannya menjadi agak rendah, misalnya pada roda gigi, poros, batang penggerak dan sebagainya.

Pada dasarnya baja yang telah dikeraskan bersifat rapuh dan tidak cocok untuk digunakan. Melalui proses tempering, kekerasan dan kerapuhan dapat diturunkan sampai memenuhi persyaratan. Kekerasan turun, kekuatan tarik akan turun sedang keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat. Pada saat proses tempering, proses difusi dapat terjadi yaitu karbon dapat melepaskan diri dari martensit yang berarti kelutan dari baja naik, akan tetapi kekuatan tarik dan kekerasan menurun.

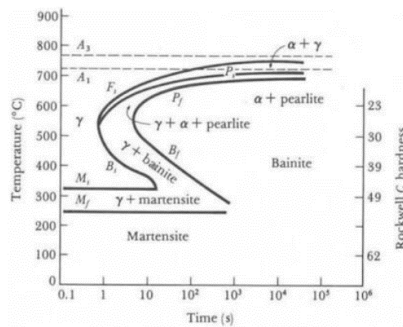
Proses tempering dilakukan dengan memanaskan kembali baja yang telah dikeraskan pada temperatur di bawah temperatur kritis bawah (A_1), kemudian ditahan beberapa saat pada temperatur tertentu, selanjutnya didinginkan kembali. Dengan pemanasan kembali, martensit yang merupakan struktur metastabil yang berupa larutan padat supersaturated dimana karbon yang terperangkap dalam struktur body centered tetragonal (BCT) akan mengeluarkan karbon yang berpresipitasi sebagai karbida besi. Dengan

keluarnya karbon, maka tegangan di dalam struktur BCT akan berkurang sehingga kekerasannya juga berkurang. Turunnya kekerasan ini akan semakin banyak bila temperatur pemanasan semakin tinggi dan juga apabila waktu tahan pada saat pemanasan semakin lama. Jika kekerasan turun kekuatan tarikpun akan turun pula. Dalam hal ini keuletan dan ketangguhan baja akan meningkat.

Pada proses tempering adalah proses pemberian energi panas kepada martensit, tentunya banyaknya energi yang disalurkan tidak hanya tergantung pada temperatur tetapi juga tergantung pada waktu penahanan. Pada suhu rendah, laju difusi lambat hanya sebagian kecil karbon dibebaskan, hasilnya sebagian struktur tetap keras tetapi mulai kehilangan kerapuhannya. Pada temperatur temper yang lebih tinggi, kekerasannya menjadi lebih rendah dengan demikian maka logam menjadi lebih ulet dan tangguh. Perubahan temperatur tempering akan merubah struktur yang dihasilkan dan sulit dilihat perbedaannya, oleh karena itu semua produk tempering pada temperatur berapapun disebut tempered martensit yang artinya fasa martensit yang telah mengalami proses temper.

2.4 Diagram TTT dan Diagram CCT

Kurva TTT (*Time Temperature Transformation*) adalah suatu diagram yang menghubungkan transformasi austenit terhadap waktu dan temperature pada temperatur konstan. Bila austenite bertransformasi dengan pendinginan secara isothermal (konstan pada temperature tertentu) akan didapat struktur tertentu sesuai dengan skema pada diagram TTT (*Time Temperature Transformation*)



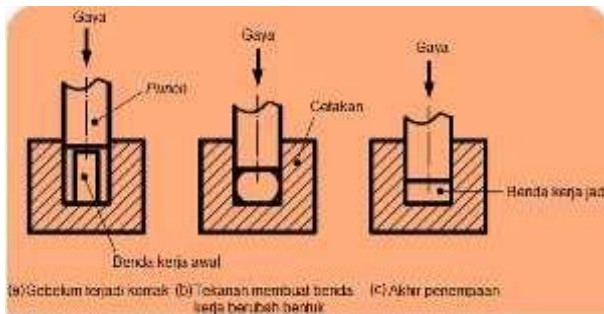
Gambar 2.3 Diagram TTT baja Hypoeutectoid

Transformasi pendinginan austenite selain secara isothermal juga dikenal pula pendinginan kontinyu disebut diagram CCT. Pendinginan yang dialami suatu benda pada proses laku panas biasanya pendinginan yang kontinyu, sehingga biasanya diagram CCT lebih banyak digunakan. Letak kurva semacam ini akan bergeser bila transformasi berlangsung pada temperatur yang menurun. Karena itu perlu dibuat suatu diagram transformasi pada pendinginan kontinyu. Diagram transformasi semacam ini dinamakan CCT (*Continuous Cooling Transformation*). Struktur martensit hanya dapat diperoleh dari austenite yang didinginkan cepat yaitu yang lebih cepat dari laju pendinginan kritisnya agar tidak terbentuk struktur lain.

2.5 Penempaan

Penempaan merupakan proses manufaktur, yang membentuk logam dengan menggunakan kekuatan tekan, hal ini akan merubah butiran di dalam baja, sehingga selama proses penempaan, maka butiran akan terdeformasi mengikuti alur penempaan. Penempaan diklasifikasikan menurut temperatur kerjanya, pengerjaan panas (*hot working*) dan pengerjaan dingin (*cold working*). Pengerjaan

panas (*hot working*) adalah pembentukan logam yang dilakukan diatas temperatur rekristalisasi atau diatas temperatur 723°C . Sedangkan pengerjaan dingin (*cold working*) adalah pembentukan logam dibawah temperatur rekristalisasi atau dibawah temperatur 723°C dan biasanya pada temperatur ruang. Pada umumnya baja dalam kondisi panas.



Gambar 2.4 (Penempaan)

Penempaan bebas umumnya digunakan untuk meningkatkan nilai kekuatan, namun jarang digunakan dalam studi perbaikan butiran baja, karena sulit untuk mempertahankan temperatur yang konstan selama proses penempaan. Akibat penempaan akan terjadi perubahan mikrostruktur dan timbul tegangan sisa yang merubah sifat mekanis bahan, jika tegangan sisa terlalu besar, akan terjadi deformasi dan penyebab keretakan.

Pengerjaan panas dapat meningkatkan keuletan dan ketangguhan. Namun terdapat beberapa kekurangan karena pengerjaan panas dengan temperatur tinggi mengakibatkan terjadi reaksi permukaan logam dengan udara sekitar.

Pengerjaan panas pada logam akan mengakibatkan struktur dan sifat-sifat logam yang tidak seragam karena deformasi selalu lebih besar pada permukaan. Logam akan mengalami butir rekristalisasi yang lebih halus pada permukaan.

Proses pengerjaan panas dilakukan secara bertahap. Pada umumnya suhu pengerjaan tahap pertama berada di atas batas

bawah temperatur pengerjaan panas untuk memanfaatkan tahanan alir yang lebih rendah. Ada kemungkinan terjadi pertumbuhan butir setelah proses rekristalisasi karena biasanya dibutuhkan produk berbutir halus pada saat terakhir temperatur kerja diturunkan, sehingga pertumbuhan butir pada pendinginan dapat diabaikan. Temperatur akhir biasanya sedikit diatas temperatur derajat deformasi pada tahap terakhir harus relatif besar.

Selama operasi pengerjaan panas, logam berada dalam keadaan plastik dan mudah dibentuk oleh tekanan, pengerjaan panas mempunyai keuntungan-keuntungan sebagai berikut:

- 1) Porositas dalam logam dapat dikurangi. Batangan (ingot) setelah dicor umumnya mengandung banyak lubang-lubang tersebut tertekan dan dapat hilang oleh karena pengaruh tekanan kerja yang tinggi
- 2) Ketidakmurnian dalam bentuk inklusi terpecah-pecah dan tersebar dalam logam.
- 3) Sifat-sifat fisik meningkat, disebabkan oleh karena penghalusan butir.
- 4) Keuletan dalam logam meningkat.
- 5) Jumlah energi yang dibutuhkan untuk mengubah bentuk baja dalam keadaan panas jauh lebih rendah dibandingkan dengan energi yang dibutuhkan untuk pengerjaan dingin.

2.6 Pengelasan (*welding*)

Pengelasan (*Welding*) adalah penyambungan dua atau lebih bahan dengan cara memanaskan permukaan sampai mencair dengan atau tanpa logam pengisi (*filler*) dan dengan atau tanpa tekanan. Dari definisi tersebut terdapat 3 kata kunci untuk menjelaskan definisi pengelasan yaitu mencairkan logam, logam pengisi, dan tekanan.

Proses penyambungan lain yang telah dikenal lama selain pengelasan adalah penyambungan dengan cara *Brazing* dan *Soldering*. Perbedaannya dengan pengelasan adalah tidak sampai mencairkan logam induk tetapi hanya logam pengisinya saja.

Sedangkan perbedaan antara *Brazing* dan *Soldering* adalah pada titik cair logam pengisinya. Proses *Brazing* berkisar 450°C – 900°C , sedangkan untuk *Soldering*, titik cair logam pengisinya kurang dari 450°C .

2.6.1 Distorsi dan Tegangan Sisa

Distorsi adalah terjadinya perubahan bentuk atau penyimpangan bentuk oleh panas, termasuk akibat proses pengelasan. Terjadinya pemuaian benda kerja mengakibatkan melengkung atau tertarik bagian-bagian sekitar benda kerja las. Hal ini karena semua logam akan mengalami pengembangan jika terkena panas, terjadi penyusutan jika mengalami pendinginan.

Pada proses pengelasan, tegangan sisa dan distorsi merupakan kejadian yang saling berhubungan. Distorsi terjadi jika logam las dibiarkan bergerak leluasa selama proses pendinginan. Jadi distorsi terjadi karena adanya pemuaian dan penyusutan yang bebas akibat siklus termal las. Ada dua alternatif dalam pemilihan besar distorsi yang terjadi pada benda kerja yang di las :

- 1) Apabila benda kerja tidak boleh mengalami distorsi setelah proses pengelasan, maka diadakan *fixturing* yang konsekuensinya timbul tegangan sisa (*internal stress*).
- 2) Apabila benda kerja boleh mengalami distorsi setelah proses pengelasan, maka tegangan sisanya minim tetapi akan terjadi perubahan bentuk.

Distorsi dapat mengakibatkan :

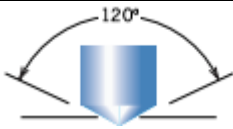

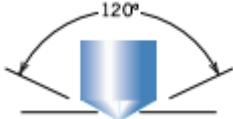
- 1) Bentuk akhir tidak memenuhi syarat baik keindahan maupun letak dari benda yang di las.
- 2) Terjadi misalignment.
- 3) Dapat menjadi bagian yang terlemah.
- 4) Mengganggu distribusi gaya.

2.7 Uji Kekerasan

Pada pengujian kekerasan *rockwell*, angka kekerasan yang di peroleh merupakan fungsi dari kedalaman indentasi pada spesimen akibat pembebanan statis. Pada pengujian dengan metode *rockwell* dapat digunakan dua bentuk indendtor, yaitu berbentuk bola dari baja yang dikeraskan dengan berbagai diameter, dan bentuk kerucut dari intan (*diamond cone*). Beban yang diberikan pada saat indentasi disesuaikan dengan bentuk dan dimensi indenter, dimana angka kekerasan specimen uji dapat dibaca langsung pada mesin tanpa perlu perhitungan tambahan.

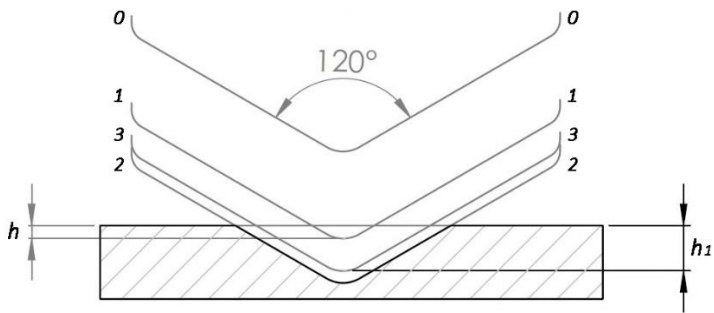
Prosedur pengujian kekerasan *Rockwell* dilakukan dengan melakukan indentasi dengan beban awal 10 kg (*Minor Weight*), yang menyebabkan kedalaman indentasi h , jarum penunjuk diset pada angka nol skala hitam, kemudian *Mayor Weight* diberikan.

Tabel 2.1 Skala Uji dan Jenis Identer Kekerasan Rockwell

Scale	Identer	Mayor Weight (kgf)	Unit
A	 Diamond Cone 120°	60	HRA
B	 Diamond Cone 120°	100	HRB
C	 Ball Ø 1.588 mm	150	HRC

Skala B digunakan untuk mengukur logam-logam yang nilai kekerasannya rendah dan menengah, Skala C digunakan untuk mengukur kekerasan logam telah diberi perlakuan khusus, dan Skala A digunakan untuk mengukur logam yang kekerasannya melebihi 70 *Rockwell C* misalnya *Tungsten Carbide Alloy*.

Angka kekerasan *Rockwell* tidak bersatuan, tetapi didahului dengan satu huruf depan yang menyatakan kondisi pengujian. Walau nilai kekerasan *Rockwell* otomatis terbaca pada mesin, ada metode perhitungan yang dapat digunakan dengan memperhatikan kedalaman indentasi (h_1)



Gambar 2.5 Prinsip Kerja *Rockwell*

Keterangan :

0-0 Posisi sebelum indentasi

1-1 Penetrasi pada saat beban awal (minor)

2-2 Penetrasi pada saat beban penuh (mayor)

3-3 Penetrasi setelah beban mayor dilepas

Angka kekerasan *Rockwell* tidak bersatuan, tetapi dengan satu huruf depan seperti pada tabel 2.1 yang menyatakan kondisi pengujian. Angka skala pada mesin terdiri dari dua skala, yaitu merah dan hitam, berbeda 30 angka kekerasan. Skala *Rockwell*

terbagi 100 divisi, dimana setiap divisi sebanding dengan kedalaman indentasi 0,002 mm. Angka kekerasan Rockwell B dan Rockwell C dinyatakan sebagai kedalaman indentasi (h_1) dapat ditulis sebagai berikut.

$$HR_B = 130 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0.002}$$

$$HR_C = 100 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0.002}$$

2.7 Uji Metalografi

Ilmu logam secara garis besar dibagi menjadi 2 yaitu metalurgi dan metalography. Metalurgi yaitu ilmu yang mempelajari tentang perpaduan logam dengan unsur-unsur tertentu seperti titanium, copper, yang bertujuan untuk memperkuat atau dan menambah ketangguhan logam, yang digunakan untuk berbagai kebutuhan khusus seperti engine blok piston dll.

Metalografi merupakan suatu metode untuk menyelidiki struktur logam dengan menggunakan mikroskop optis dan mikroskop electron dengan perbesaran 50 – 3000 kali. Sedangkan struktur yang terlihat pada mikroskop tersebut disebut mikrostruktur. Pengamatan tersebut dilakukan terhadap spesimen yang telah diproses sehingga bisa diamati dengan pembesaran tertentu.

Pengujian metalography dibagi menjadi dua jenis yaitu pengujian makro dan pengujian mikro

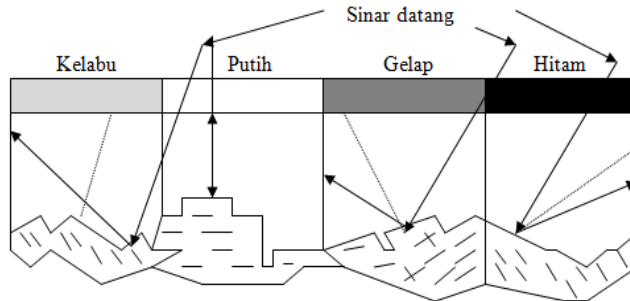
1. Pengujian makro

Pengujian makro bertujuan untuk melihat secara visual atau kasat mata hasil seperti pada pengelasan apakah terdapat cacat atau tidak, dengan dilakukan proses etsa terlebih dahulu.

2. Pengujian mikro

Pengujian mikro bertujuan untuk melihat butiran struktur kristal dari logam yang diuji dengan menggunakan mikroskop

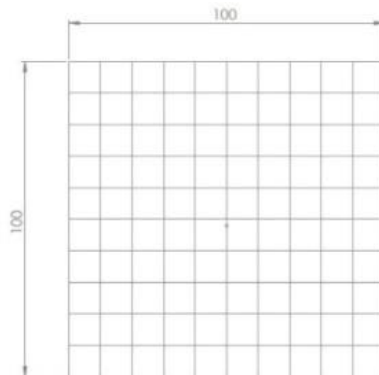
mulai perbesaran 50-3000 kali, sehingga dapat diketahui sifat, dan struktur dari logam tersebut.



Gambar 2.6 Pantulan Sinar Pada *Metallography Test*

2.7.1 Metode Perhitungan Presentase Mikro Struktur

Untuk memudahkan menentukan presentase struktur mikro diperlukan penggambaran garis bantu pada hasil foto *Metallography Test* baik untuk perhitungan presentase tiap struktur mikro maupun perhitungan rata-rata besar butir berdasarkan ASTM E-562.



Gambar 2.7 Garis Bantu Menghitung Presentase Tiap Struktur Mikro

Sebelumnya hasil foto *Metalografi* dipotong dengan dimensi (100x100 mm). Rumus yang digunakan untuk menentukan presentase tiap struktur mikro, yaitu:

$$P_{Ms} () = \frac{Q_{Ms}()}{Q_o} \times 100\%$$

Keterangan:

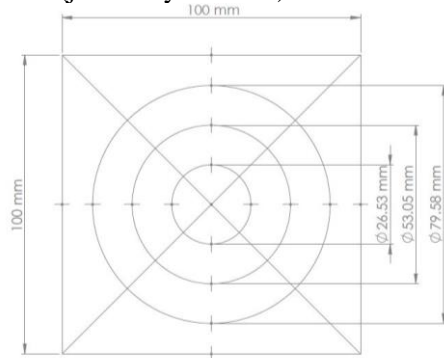
$P_{Ms} ()$: Presentase *Microstruktur* tertentu (%)

$Q_{Ms} ()$: Jumlah titik *Microstruktur* tertentu

Q_o :Jumlah titik total

2.7.2 Menghitung Rata-rata Besar Butir

Dengan mengetahui besar butir suatu struktur mikro kekerasan suatu material dapat ditentukan, benda kerja dengan ukuran struktur mikro yang kecil (jumlahnya banyak) akan lebih keras dibanding benda kerja dengan ukuran struktur mikro yang besar (jumlahnya sedikit).



Gambar 2.8 Garis Bantu Intercept Counting ASTM E112

Sebelumnya hasil foto *Metallography Test* di threshold. Penandaan batas butir dapat hanya menggunakan 3 lingkaran ($L_T=500mm$) maupun seluruh garis ($L_T=1200mm$). Metode ini cocok untuk butir yang tidak beraturan. Rumus yang digunakan untuk menentukan ukuran besar butir yaitu:

$$G = (-6.645 \log \frac{L_T}{N \times M}) - 3.298$$

Keterangan:

G : *Grain Size Number*

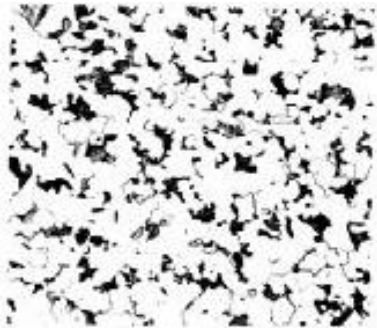
L_T : Total panjang garis yang terkena batas butir (mm)

N : Jumlah titik potong batas butir yang terkena garis

M : Total perbesaran mikroskop

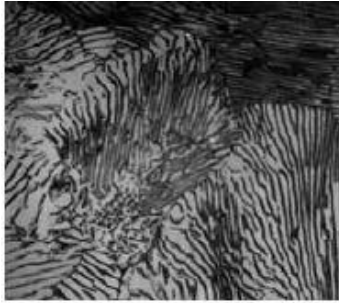
2.7.3 Macam-macam Struktur Mikro

Berikut ini adalah penjelasan dari berbagai gambar struktur mikro yang terkandung dalam logam :



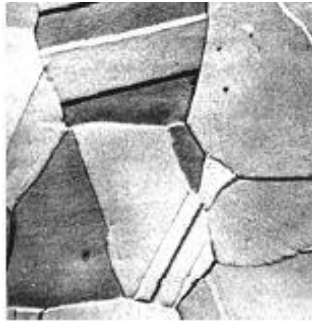
Gambar 2.9 Struktur Mikro Ferrit

Ferrit yaitu larutan padatan interstisial karbon dalam besi α dengan kadar karbon 0,025% pada suhu 723°C dan 0,008% di temperatur kamar. Berbentuk butir-butir kristal yang padat. Struktur Kristal BCC. Berwarna putih terang. Sifat mekanis lunak dan ulet (kondisi annealing). Kekerasan 140-180 HVN



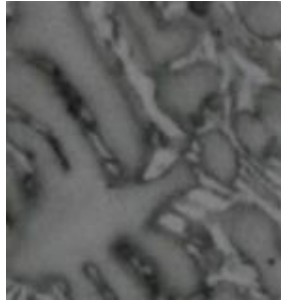
Gambar 2.10 Struktur Mikro Pearlit

Pearlite yaitu suatu eutectoid mixture dari cementite dan ferrite terdiri dari lapisan alpha-ferrit (88%) dan cementite (12%) dengan kadar karbon 0,8% terbentuk pada suhu 723°C. Berbentuk pipih atau berlapis. Berwarna kehitaman. Sifat mekanis lunak. Kekerasan $\pm 180-250$ HVN.



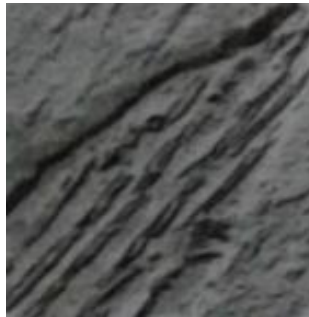
Gambar 2.11 Struktur Mikro Austenite

Austenite yaitu larutan padat interstisial karbon dalam besi γ dengan kadar karbon 2%. Struktur Kristal FCC. Berbentuk padatan seperti plat. Berwarna abu-abu terang. Sifat mekanis lunak dan ulet (kondisi besi murni). Kekerasan ± 390 HVN.



Gambar 2.12 Struktur Mikro Cementite

Cementite yaitu karbida besi Fe_3C merupakan senyawa interstisial dengan kadar karbon 6,67%. Struktur Kristal Orthorhombik. Berbentuk jaringan (network). Berwarna putih. Sifat mekanis sangat keras dan getas. Kekerasan ± 800 HVN.



Gambar 2.13 Struktur Mikro Bainite

Bainite yaitu acicular mikro yang berbentuk pada baja pada suhu sekitar $250-550^\circ\text{C}$ dengan kadar karbon $<0,5\%$. Struktur Kristal BCC. Berbentuk jarum-jarum acicular yang tidak sejajar satu sama lain. Berwarna abu-abu gelap. Sifat mekanis sangat keras dan getas. Terjadi karena adanya pendinginan cepat dan disertai penahanan temperature. Kekerasan 300-400 HVN.



Gambar 2.14 Struktur Mikro Martensit

Martensite yaitu struktur metastabil yang terbentuk karena proses pendinginan yang cepat atau sangat cepat pada temperatur austenitisasinya dengan kadar karbon $>0,5\%$. Struktur Kristal BCT. Berbentuk jarum-jarum pendek. Berwarna hitam pekat. Sifat mekanis sangat keras. Kekerasan > 500 HVN

2.8 Uji Impak

Sebuah tes untuk mengukur jumlah energi yang diserap saat mematahkan takikan pada benda uji dengan satu pukulan yang dilakukan oleh pendulum. Benda kerja dicekam secara vertikal dengan bagian bawah takikan berada pada bidang yang sama dengan permukaan atas pencekam. Pukulan dilakukan pada permukaan yang sama dengan permukaan takikan dan pada ketinggian tertentu di atasnya.

Dalam hal ini energi didapat dari suatu bandul yang mempunyai ketinggian tertentu dan berayun memukul benda uji, berkurangnya energi potensial dari bandul sebelum dan sesudah memukul benda uji merupakan energi yang dapat diserap oleh benda uji tersebut.

Takik atau notch memegang peranan yang penting terhadap kekuatan impak suatu material. Dua buah benda yang mempunyai luas penampang, penahan beban yang sama bisa mempunyai

kekuatan impak yang selalu jauh berbeda akibat perbedaan bentuk takik yang dimiliki. Adanya takikan pada benda kerja yang bisa berupa bentuk konfigurasi hasil desain, pengerjaan yang salah seperti diskontinuitas pada pengelasan atau korosi lokal yang bisa berdifat sebagai pemusat tegangan (*stress concentration*) Adanya pusat tegangan ini dapat menyebabkan Brittle material yang menjadi patah pada beban dibawah yield strength.

Kekuatan Impak suatu bahan didefinisikan sebagai energi yang digunakan untuk mematahkan batang uji dibagi dengan luas penampang pada daerah takikan. energi untuk mematahkan batang uji dihitung berdasarkan berat dan ketinggian ayunan pendulum sebelum dan setelah Impak.

2.8.1 Prosedur Pengujian Impak

- 1) Menyiapkan peralatan yang akan digunakan untuk pengujian
- 2) Periksa posisi nol mesin dengan menaikkan pendulum ke posisi latch, gerakkan pointer mendekati kapasitas maksimal kisaran yang digunakan, lepaskan pendulum, dan baca nilai yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk. Penunjukan harus menunjukkan nol pada mesin pembaca.
- 3) Spesimen uji secara termal dikondisikan dan diposisikan pada landasan. Pendulum dilepaskan tanpa getaran, dan spesimen dipukul oleh pemukul. Informasi diperoleh dari mesin dan spesimen yang telah dipukul.
- 4) Benda uji dijepit pada landasan
- 5) Untuk melakukan tes, persiapkan mesin dengan cara menaikkan pendulum ke posisi latch, atur indikator energi pada skala maksimum. Posisikan spesimen pada landasan dan lepaskan pendulum.

Tanpa memperhatikan kehilangan energi. Energi yang dipakai untuk mematahkan test piece dapat dihitung dengan penurunan rumus sebagai berikut:

$$\text{Energi awal } (E_0) = W h_0 = W(L - L \cos \alpha) \quad \dots\dots(1)$$

$$\text{Energi akhir } (E_1) = W h_1 = W(L - L \cos \beta) \quad \dots\dots(2)$$

Substitusi persamaan (1) dan persamaan (2)

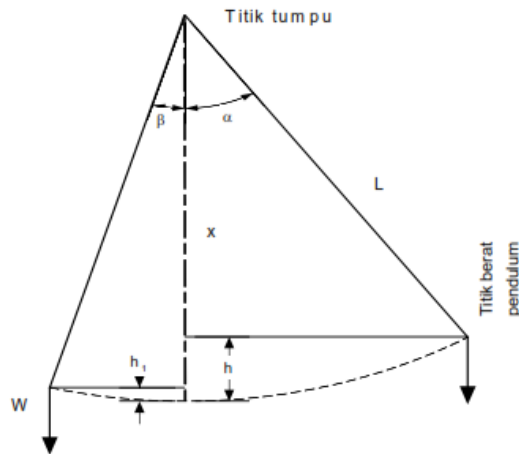
$$\Delta E = E_0 - E_1$$

$$\Delta E = (W(L - L \cos \alpha)) - (W(L - L \cos \beta))$$

$$\Delta E = W \cdot L(\cos \beta - \cos \alpha) \quad \dots\dots (3)$$

Untuk mendapatkan nilai kekuatan impak ΔE (Joule) dibagi dengan luas penampang benda kerja dibagian yang patah (mm^2)

$$IS = \frac{W \cdot L(\cos \beta - \cos \alpha)}{A}$$



Gambar 2.15 Ayunan Pendulum Alat Uji Impak

Dimana:

W = Berat dari pendulum (kgm)

h_0 = Ketinggian pendulum sebelum diayunkan (m)

h_1 = Ketinggian pendulum setelah keadaan patah (m)

α = Sudut awal ($^\circ$)

β = Sudut akhir ($^\circ$)

L = Jarak titik tumpu ke titik berat (m).

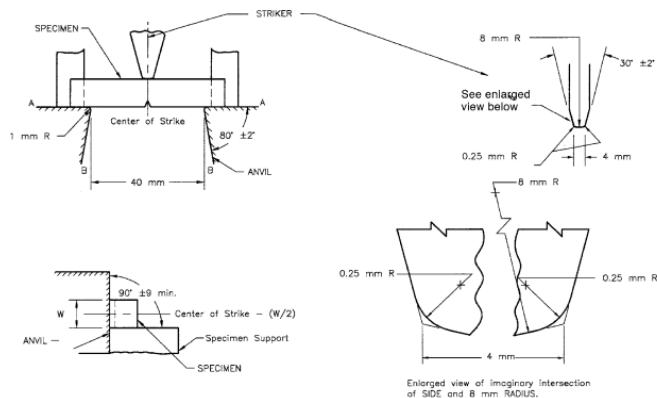
A = Luas penampang test piece bagian yang tertakik (mm^2).

IS = Kekuatan Impak (kgm/mm^2) atau (Joule)

2.8.2 Uji Impak Metode Charpy

Batang uji Charpy banyak digunakan di Amerika Serikat, Benda uji Charpy memiliki luas penampang lintang bujur sangkar ($10 \times 10 \text{ mm}$) dan memiliki takik (notch) berbentuk V dengan sudut 45° , dengan jari-jari dasar $0,25 \text{ mm}$ dan kedalaman 2 mm . Benda uji diletakkan pada tumpuan dalam posisi mendatar dan bagian yang bertakik diberi beban dampak dari ayunan bandul, Serangkaian uji Charpy pada satu material umumnya dilakukan pada berbagai temperature sebagai upaya untuk mengetahui temperatur transisi prinsip dasar pengujian charpy ini adalah besar gaya kejutan yang dibutuhkan untuk mematahkan benda uji dibagi dengan luas penampang patahan. Mula-mula bandul Charpy disetel dibagian atas, kemudian dilepas sehingga menabrak benda uji dan bandul terayun sampai ke kedudukan bawah Jadi dengan demikian, energi yang diserap untuk mematahkan benda uji ditunjukkan oleh selisih perbedaan tinggi bandul pada kedudukan atas dengan tinggi bandul pada kedudukan bawah (tinggi ayun). Segera setelah benda uji diletakkan, kemudian bandul dilepaskan sehingga batang uji akan melayang

(jatuh akibat gaya gravitasi). Bandul ini akan memukul benda uji yang diletakkan semula dengan energi yang sama. Energi bandul akan diserap oleh benda uji yang dapat menyebabkan benda uji patah tanpa deformasi (getas) atau pun benda uji tidak sampai putus yang berarti benda uji mempunyai sifat keuletan yang tinggi. Permukaan patah membantu untuk menentukan kekuatan impact dalam hubungannya dengan temperatur transisi bahan. Daerah transisi yaitu daerah dimana terjadi perubahan patahan ulet ke patahan getas. Bentuk perpatahan dapat dilihat langsung dengan mata telanjang atau dapat pula dengan bantuan mikroskop.

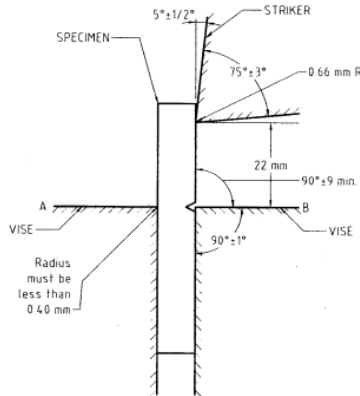


Gambar 2.16 Pemukulan Pada Metode Charpy

2.8.3 Uji Impak Metode Izod

Pengujian ini terdiri dari mengukur energi yang diserap dalam takikan yang patah pada benda uji oleh satu pukulan dari pemukul yang dibawa oleh pendulum. Benda kerja dicekam secara vertikal dengan bagian bawah takikan berada pada bidang yang sama dengan permukaan atas pencekam. Pukulan memukul pada

permukaan yang sama dengan takikan dan pada ketinggian tertentu diatasnya. Pengujian biasanya dilakukan pada temperatur ruangan di tempat pengujian.



Gambar 2.17 Pemukulan Pada Metode Izod

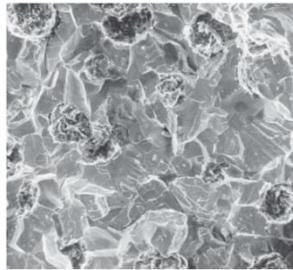
Pada pengujian metode izod benda kerja harus diatur secara akurat pada posisinya, sehingga bagian tengah dari takikan bertemu permukaan atas pencekam, dan penyimpangan dari bidang takikan dari permukaan atas pencekam harus kecil tidak melebihi 0,4 mm.

2.8.4 Macam-Macam Patahan

Fracture atau kepatahan pada suatu material bisa digolongkan sebagai brittle atau ductile fracture. Suatu material yang mengalami kepatahan tanpa mengalami deformasi plastis dikatakan patah secara brittle, sedang apabila kepatahan didahului dengan suatu deformasi plastis dikatakan mengalami ductile fracture. Material yang mengalami brittle fracture hanya mampu menahan energi yang kecil saja sebelum mengalami kepatahan. Patahan yang terjadi akibat pengujian impak ini ada 3 macam antara lain :

1) Patahan getas (*brittle*)

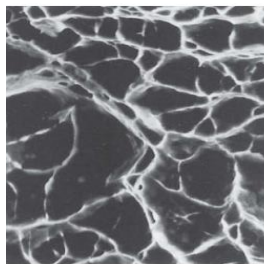
Patahan ini mempunyai bentuk yang rata serta mempunyai permukaan yang mengkilap. Apabila potongan dari patahan brittle ini kita sambungkan kepatahan itu tidak dibarengi dengan deformasinya bahan. Patahan brittle ini mempunyai nilai pukulan takik yang rendah.



Gambar 2.18 Hasil Scan Elektron Patahan Brittle

2) Patahan ulet (*ductile*)

Patahan ulet ini mempunyai permukaan patahan yang tidak merata, buram dan berserat. Patahan ulet ini mempunyai nilai pukulan takik yang tinggi.

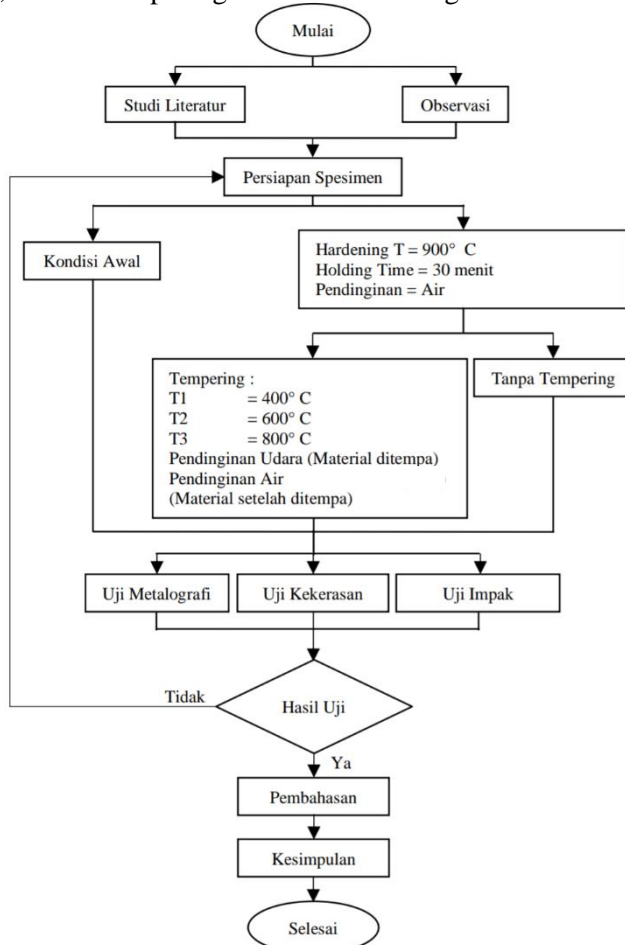


Gambar 2.19 Hasil Scan Elektron Patahan Ductile

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Flowchart Penelitian

Pengerjaan dalam pembuatan tugas akhir ini sesuai dengan flowchart, bisa dilihat pada gambar 3.1 atau diagram dibawah ini.



Gambar 3.1 Diagram Alir

3.2 Bahan

Material yang digunakan dalam pengujian ini adalah baja SM490. Baja SM490 ini digunakan sebagai underframe kereta yang dibuat oleh PT.INKA Madiun.

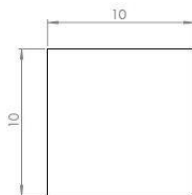
Tabel 3.1 komposisi kimia baja SM490 setelah uji OES

Unsur(%)					
Fe	C	Si	Mn	Ni	Cr
98,6	0,16	0,05	0,99	0,013	0,007

3.3 Benda Uji

3.3.1 Benda Uji Metalografi

Benda uji dipotong dengan dimensi yang sudah ditentukan, yaitu 10 mm x 10 mm serta tebal 12 mm. sesuai dengan gambar 3.3



Gambar 3.2 Benda uji metalografi

Pengujian ini didasarkan pada ASTM E3 – 95. Langkah – langkah pengujian ini adalah :

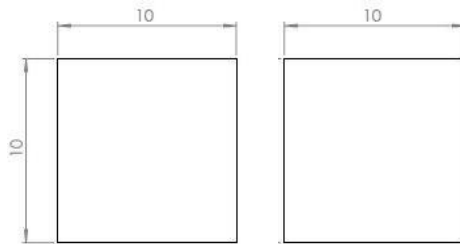
1. Spesimen di grinding menggunakan kertas gosok dengan grid 120, 180, 240, 320, 360, 400, 600, 800,1000,1200,1500 dan 2000 pada mesin *grinding* yang dialiri air pada mesin *grinding – polishing*.2
2. Spesimen dipoles menggunakan kain bludru dan autosol hingga diperoleh spesimen yang bebas dari goresan.
3. Spesimen di *etsa* menggunakan campuran 2 % HNO_3 dan 98% *alkohol* selama beberapa detik lalu spesimen

segera dicuci dengan menggunakan *alkohol* untuk diamati fasa yang terjadi.

4. Spesimen diamati struktur mikro dan fase yang terjadi menggunakan mikroskop optis.

3.3.2 Benda Uji Kekerasan

Benda uji dipotong dengan dimensi yang sudah ditentukan, yaitu 10 mm x 10 mm serta tebal 12 mm. dilakukan uji kekerasan sesuai standard uji Kekerasan ASTM E – 18.

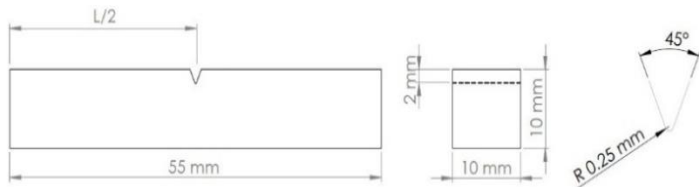


Gambar 3.3 Benda uji kekerasan

3.3.3 Benda Uji Impak

Benda uji berbentuk sesuai standart dimensi uji Impak ASTM A370 – 07a yang merujuk pada ASTM E23, dapat dilihat pada gambar 3.4. Dengan dimensi benda uji 55 mm x 10 mm x 10 mm

- Dalam takikan = 2 mm
- Jari – jari Takikan = 0.25 mm
- Sudut Takikan 45°



Gambar 3.4 Dimensi Benda Uji Impak

3.4 Prosedur Laku Panas

3.4.1 *Hardening*

Perlakuan panas *hardening* ini digunakan untuk memberikan tegangan sisa pada benda uji. Benda uji yang diberi perlakuan *hardening* ini dipanaskan sampai suhu 900°C dan ditahan pada temperatur tersebut selama 30 menit. Selanjutnya benda uji didinginkan dengan menggunakan air.

3.4.2 *Tempering*

Tempering ini digunakan untuk memanaskan benda kerja yang nantinya akan *diforging*. Pada laku panas ini benda uji dipanaskan dengan tiga variasi suhu tanpa ada waktu penahanan. Selanjutnya benda kerja *diforging* sebanyak 10 kali. Setelah selesai proses *forging* benda kerja dimasukkan kedalam air.

3.5 Pengujian

Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini, dilakukan pada material awal dan material yang telah di *treatment*. Proses pengujian dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

3.5.1 Uji Metalografi

Pengamatan metalografi menggunakan peralatan sebagai berikut :

1. Mesin grinding dan polishing
2. Kertas gosok grid 100 - 2000
3. Kain jins
4. Digunakan etsa *nital* 5% dan *alkhohol* 95%
5. Mikroskop optik



Gambar 3.5 Mikroskop Optik

1. Menghitung Presentase Tiap Microstructur
Berdasarkan pada ASTM E562 yang merupakan standar pengujian untuk menentukan fraksi volume dengan sistem perhitungan manual (point counting). Untuk Menggunakan ASTM E562 maka sebelumnya harus dilakukan foto mikro pada benda uji.
2. Menghitung Rata-rata Besar Butir
Berdasarkan pada ASTM E112 menggunakan metode *intercept (heyne)*

3.5.2 Uji Kekerasan

Hardenability Test yang digunakan adalah kekerasan *Rockwell* skala C dengan acuan standart uji kekerasan ASTM E – 18, yang dinyatakan dalam HRC. Indentor yang digunakan intan dengan sudut 120° dan beban 150 Kg. Dilakukan identasi sebanyak 3 kali di tempat yang berbeda pada setiap benda uji.

Langkah-langkah pengujian ini adalah

- 1) Permukaan Permukaan (atas dan bawah) specimen harus datar, halus, serta bebas dari kotoran, minyak, benda asing, maupun cacat.

- 2) Memasang indenter pada pemegang indenter.
- 3) Menempatkan indenter pada mesin.
- 4) Dashpot/pengatur beban diatur pada pembebanan 100 kg (untuk Rockwell B) atau 150 kg (untuk Rockwell C).
- 5) Putarlah handwheel untuk mengangkat landasan dengan perlahan untuk menaikkan penetrator sampai penunjuk kecilnya berada pada tanda merah dan penunjuk besarnya berputar tiga kali dan berhentilah dengan arah vertical.
- 6) Putarlah kerangka luar dari indicator untuk mendapatkan garis panjang tertulis di antara garis b dan c sejajar dengan penunjuk besar (diperbolehkan memutar searah jarum jam atau berlawanan jarum jam).
- 7) Tariklah handle untuk mengaplikasikan gaya uji utama, pada saat itu penunjuk besar dari indicator berputar berlawanan dengan arah jarum jam.
- 8) Ketika penunjuk indicator berhenti, doronglah handle pelepasnya dengan perlahan untuk melepaskan gaya uji utamanya.
- 9) Melihat angka kekerasan pada skala dial di mesin (skala merah untuk Rockwell B dan skala hitam untuk Rockwell C).
- 10) Putarlah handwheel untuk menurunkan dan mengambil benda uji. Apabila ingin mengadakan pengujian baru, ulangi menurut prosedur nomor 5-9 seperti dijelaskan di atas.

3.5.3 Uji Impak

Metode yang digunakan adalah Uji Impak metode Charpy sesuai dengan standard ASTM A370-07a yang merujuk pada ASTM E23.



Gambar 3.6 Alat Uji Impak

Langkah-langkah pengujian ini adalah :

- 1) Membersihkan spesimen dari kerak sisa dari perlakuan panas.
- 2) Beri tanda pada setiap spesimen yang akan di uji agar tidak tertukar.
- 3) Catat data pada mesin uji impak.
- 4) Pasang benda kerja pada mesin uji impak.
- 5) Naikkan pendulum sampai sudut 140° .
- 6) Tepatkan jarum pada posisi 0° .
- 7) Ayunkan pendulum.
- 8) Catat sudut yang ditunjuk oleh jarum penunjuk hasil pengujian.
- 9) Ambil benda kerja, dan amati jenis patahan yang ada pada benda uji.

3.6 Langkah Percobaan

- 1) Benda uji baja karbon SM490 dimasukkan kedalam furnace untuk dihardening.
- 2) Dapur pemanas dipanaskan dengan temperatur 900°C .
- 3) Setelah mencapai temperatur 900°C dilakukan penahanan selama 60 menit.

- 4) Benda uji dikeluarkan dari pemanas dan didinginkan dengan media pendingin air.
- 5) Setelah dingin benda uji kembali dipanaskan dengan suhu 400°C untuk benda uji yang pertama, 600°C untuk benda uji yang kedua dan 800°C untuk benda uji yang ketiga.
- 6) Selanjutnya dilakukan waktu penahanan selama 60 menit.
- 7) Benda uji selanjutnya dikeluarkan dari oven untuk proses forging.
- 8) Selanjutnya benda uji *diforging* / ditempa sebanyak 20 kali.
- 9) Kemudian benda uji yang sudah mengalami penempaan dimasukkan kedalam air untuk melakukan proses pendinginan.
- 10) Sebagian benda uji tidak *diforging* dimasukkan secara bersamaan kedalam air, hal ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan antara benda uji yang ditempa dengan yang tidak ditempa.
- 11) Lakukan kembali proses nomor 6-9 untuk benda uji yang kedua (pemanasan mencapai 600°C) dan benda uji yang ketiga (pemanasan mencapai 800°C).
- 12) Setelah semua benda uji mendapat perlakuan panas benda uji dibersihkan dari kerak yang diakibatkan oleh proses pemanasan.
- 13) Selanjutnya melakukan uji kekerasan, uji metalografi dan uji impak.
- 14) Melakukan analisis dari hasil pengujian.

BAB 4

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan di PT. INKA, Madiun. Cara untuk mengetahui komposisi kimia baja SM490 adalah menggunakan metode OES (Optical Emission Spectrometry).



Gambar 4.1 Pengujian Metode OES

Setelah didapat beberapa unsur dari hasil uji komposisi kimia, maka dibuatlah diagram batang pada jumlah kandungan unsur dalam % (persen) yang terkandung didalam spesimen. Maka komposisi kimia baja SM490 didapat data pada tabel berikut.

Tabel 4.1 Hasil Uji Komposisi Kimia

Unsur (%)					
Fe	C	Si	Mn	Ni	Cr
98,6	0,155	0,05	0,997	0,126	0,007

4.2 Material Awal

Sebelum mendapat perlakuan panas, material yang masih dalam kondisi normal di uji dengan tujuan untuk mengetahui berapa nilai kekerasan, struktur mikro, dan impak sebelum mendapat perlakuan panas.

4.2.1 Uji Impak

Dalam setiap pengujian impact pada material menggunakan sudut $\alpha = 140^\circ$. Dari hasil pengujian impact didapat nilai kekuatan impact material awal Rata-Rata sebesar 2,1153 Joule/mm².

Tabel 4.2 Data Pengujian Impact Material

Mesin Uji	Mesin Uji Impact Charpy
Sudut α (°)	140
W (N)	131,7
R (m)	0.60



Gambar 4.2 Spesimen Hasil Pengujian Impact
Kondisi Awal

Tabel 4.3 Data Hasil Energi Impact Material Awal

Sudut β [°]	A [mm ²]	E [Joule]	IS [$\frac{joule}{mm^2}$]
4	65	139,352	2,1438
5	60	139,241	2,3206
5	74	139,241	1,8816
RATA-RATA		139,274	2,1153

Keterangan :

E = Energi Impact

IS = Kekuatan Impact

A = Luas Penampang Bagian Impact yang Patah

Dari hasil pengujian tersebut kita dapat mengetahui bahwa baja SM490 menghasilkan sudut Sudut β [°] yang kecil, hal ini menandakan bahwa material ini mempunyai sifat yang ulet. Sehingga membuat baja ini mampu menyerap energi dampak yang besar. Dengan hasil rata-rata kekuatan dampak 2,1153 joule/mm²

4.2.2 Uji Kekerasan

Material yang belum mendapat perlakuan panas dilakukan uji kekerasan agar didapat nilai kekerasan dari material awal.

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Kekerasan Material Awal

Kondisi	Nilai Kekerasan (HRB)	Rata-Rata (HRB)	standar AS/NZS 3678 – 350 (HRB)
Normal	84,5	85,8	78 s/d 89
	86,5		
	86,5		

Dari data hasil pengujian kekerasan material awal baja SM490 diatas diketahui bahwa masih sesuai dengan standar AS/NZS 3678 - 350.

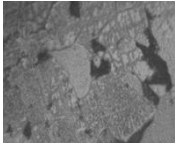
4.2.3 Uji Metalografi

Pada pengujian metalografi kali ini dilakukan untuk mengetahui struktur material SM490 yang belum mendapat perlakuan panas. Dengan pengambilan foto struktur mikro pada perbesaran 100x.



Gambar 4.3 Material uji metalografi

Tabel 4.5 Hasil uji mikro struktur material awal

Spesimen	Hasil Metalografi	Fasa
SM490		Martensit 14% Pearlite 56% Ferrit 36%

Dari hasil pengujian metalografi, berdasarkan ASTM E112 maka didapat besar butir (*Grain Size*) yang terbentuk sebagai berikut:

Tabel 4.6 Nilai Besar Butir Struktur Mikro Kondisi Awal

Benda Uji	Grain Size Number (G)	Average Diameter (mm)
Kondisi Awal	2	0,1796

Dari hasil perhitungan grain size memiliki nilai (G) sebesar 2 dengan besar diameter butiran 0,1796 mm.

4.3 *Hardening* (Simulasi Tegangan Sisa)

Untuk mendapatkan tegangan sisa pada benda uji dilakukan dengan cara melakukan pengerasan pada material. Hal ini dilakukan dengan cara melakukan pemanasan pada benda uji sampai suhu 900°C dan dilakukan waktu penahanan selama 30 menit, kemudian didinginkan dengan menggunakan air.

Tabel 4.7 Data Proses *Hardening*

Data hardening pada benda uji baja SM490	
Tempat	Furnace
Temperatur Ruang	32°C
Temperatur Pemanasan	900°C
Waktu Penahanan	30 Menit
Media Pendingin	Air

4.3.1 Uji Impak Material *Hardening*

Material yang telah mendapat tegangan sisa dari proses *hardening* selanjutnya di uji impak untuk mengetahui sifat mekanik dari material dan untuk mengetahui kekuatan impak dari spesimen.

Tabel 4.8 Data Hasil Energi Impak Material *Hardening*

Sudut β [°]	A [mm ²]	E [Joule]	IS [$\frac{joule}{mm^2}$]
53	74	108,083	1,4605

Keterangan :

E = Energi Impak

IS = Kekuatan Impak

A = Luas Penampang Bagian Impak yang Patah

Dilihat dari data pengujian impak proses *hardening* diatas, bahwa material ini lebih getas dibandingkan dengan material awal yang belum diberi perlakuan panas, karena membentuk sudut 53°. Getasnya material ini juga nampak pada patahan yang terlihat pada benda uji yang telah patah. Tampak butiran-butiran yang mengkilap dari patahannya.



Gambar 4.4 Hasil Uji Impak Material *Hardening*

4.3.2 Hasil Uji Kekerasan Material *Hardening*

Material yang telah di *hardening* selanjutnya di uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan dari material yang *dihardening*

Tabel 4.9 Data Hasil Pengujian Kekerasan Material *Hardening*

Kondisi	Nilai Kekerasan (HRC)	Rata-Rata (HRC)
Hardening	38,5	38,3
	38,5	
	38	

Dari data diatas didapat bahwa material yang telah dihardening mempunyai kekerasan yang jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan material awal. Kekerasan dari material yang telah *dihardening* memiliki nilai 38,3 HRC.

Pengujian kekerasan ini dilakukan dengan mesin uji kekerasan Rockwell tipe C, karena telah dilakukan perlakuan hardening.

4.3.3 Hasil Uji Metalografi Material *Hardening*

Pengujian metalografi ini dilakukan untuk mengetahui struktur mikro pada spesimen yang dapat mempengaruhi sifat mekanik material. Dengan pengambilan struktur mikro pada satu titik dengan perbesaran 100x.

Dari hasil pengujian struktur mikro tersebut terlihat bahwa persentase martensit pada spesimen SM490 sebesar 38% dan Pearlite 56%, Ferrite 6%. Hal ini disebabkan karena proses Hardening dilakukan pendinginan secara cepat.

Tabel 4.10 Hasil uji struktur mikro *Hardening*

Spesimen	Hasil Metalografi Hardening	Fasa
SM490		Martensit 38% Pearlite 56% Ferrite 6%

Dari hasil pangujian metalografi diatas, berdasarkan ASTM E112 maka didapat nilai besar butir (Grain Size) yang terbentuk pada tabel berikut :

Tabel 4.11 Nilai Besar Butir Struktur Mikro Hardening

Benda Uji	Grain Size Number (G)	Average Diameter (mm)
Hardening	3	0,1270

Dilihat dari perhitungan grain size material hardening mempunyai (G) sebesar 3 dengan luas butiran 0,1270 mm hal ini karena perlakuan panas dengan temperatur 900°C kemudian dilakukan pendinginan cepat menggunakan air menyebabkan material tersebut mendapat tegangan sisa. Struktur mikro yang terdapat dalam material tersebut martensite, pearlite, dan ferrite dengan peningkatan 24% fasa martensite dari kondisi normal.

4.4 Perlakuan Panas Kembali

Proses perlakuan panas ini dilakukan untuk memanaskan benda sebelum di *forging*. Terdapat tiga variasi suhu yang digunakan dalam memanaskan benda kerja yaitu 400°C, 600°C, dan 800°C. Tujuan dari adanya 3 variasi suhu ini adalah agar kita dapat mengetahui temperatur mana yang terbaik untuk digunakan untuk pemanasan sebelum benda uji di *forging*. Untuk proses

tempa diberikan dengan tujuan untuk mengembalikan bentuk benda kerja yang mengalami deformasi ketika proses hardening.

Tabel 4.12 Data Porses Pemanasan temperatur 400°C

Baja SM490	
Tempat	Furnace
Temperatur ruangan	32°C
Temperatur Penahanan	400°C
Media	<ul style="list-style-type: none"> • 1 menit di udara, material ditempa • Air

Tabel 4.13 Data Porses Pemanasan temperatur 600°C

Baja SM490	
Tempat	Furnace
Temperatur Ruangan	32°C
Temperatur Penahanan	600°C
Media	<ul style="list-style-type: none"> • 1 menit di udara, material ditempa • Air

Tabel 4.14 Data Proses Pemanasan Temperatur 800°C

Baja SM490	
Tempat	Furnace
Temperatur Ruangan	32°C
Temperatur Penahanan	800°C
Media	<ul style="list-style-type: none">• 1 menit di udara, material ditempa• Air

4.4.1 Uji Impak Material Pemanasan Pada Temperatur 400°C, 600, 800°C

Setelah benda uji dipanaskan dilanjutkan dengan proses tempa untuk benda kerja yang ditempa. Selanjutnya benda uji di uji impak untuk mengetahui kekuatan impak.

Pada Pengujian impak ini dilakukan dengan menggunakan mesin impak charpy tipe HT-8041A. Dengan sudut awal penurunan pendulum adalah 140°. Nilai impact strength yang diperoleh dapat dilihat pada tabel berikut :



Gambar 4.7 Material Pemanasan Pada Temperatur 400°C, 600, 800°C Setelah Diuji Impak

Tabel 4.14 Hasil Pengujian Impak Material Pemanasan Pada Temperatur 400°C, 600, 800°C

Suhu (°C)	Sudut β [°]	A [mm^2]	E [Joule]	IS [$\frac{\text{joule}}{\text{mm}^2}$]
400	41	70	120,166	1,717
600	19	64,5	135,242	2,096
800	43	70	118,316	1,690

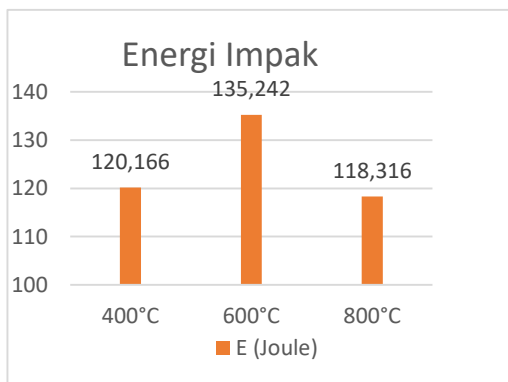
Keterangan

E = Energi Impak

IS = Kekuatan Impak

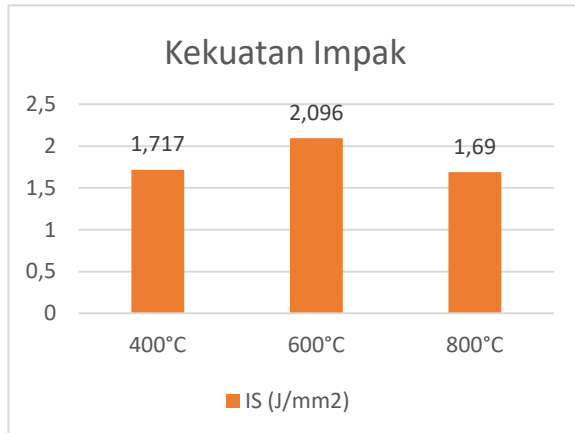
A = Luas Penampang Bagian Impak yang Patah

Dari tabel diatas didapatkan nilai dari energi impak dan kekuatan impak dari material yang di laku panas kembali pada suhu 400°C, 600°C dan 800°C yang ditempa. Hasil dari pengujian impak didapat data berupa sudut (β) yang selanjutnya untuk mengetahui energi impak dan kekuatan impak akan dihitung dengan menggunakan rumus yang ada pada bab 2. Detail perhitungan pengujian dilampirkan pada lampiran.



Gambar 4.8 Diagram Energi Impak

Pada diagram batang kekuatan impak menunjukkan bahwa pada suhu tempering 400°C memiliki nilai sebesar 1,717 joule/mm² dan pada suhu tempering 600°C meningkat menjadi 2,096 joule/mm². Sedangkan pada suhu tempering 800°C bernilai 1,69 joule/mm².



Gambar 4.9 Diagram Kekuatan Impak

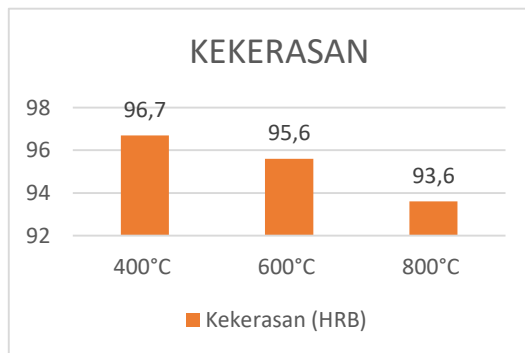
4.4.2 Uji Kekerasan Material Pemanasan Pada Temperatur 400°C, 600, 800°C

Uji kekerasan pada material yang telah dipanaskan kembali pada material yang ditempa dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur terhadap kekerasan material.

Tabel 4.15 Hasil Pengujian Kekerasan Material Pemanasan Temperatur 400°C, 600, 800°C

Suhu	Nilai kekerasan (HRB)	Rata-Rata (HRB)
400	97	96,7
	97	
	96	
600	94	95,6
	96	
	97	
800	92	93,6
	93,5	
	95,5	

Dapat dilihat dari nilai kekerasan tiga variasi suhu tersebut dimulai dari tempering suhu 400°C memiliki nilai kekerasan sebesar 96,7 HRB, suhu tempering 600°C sebesar 95,6 HRB dan tempering suhu 800°C bernilai 93,6 HRB



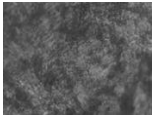
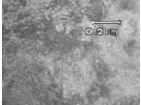
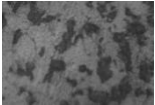
Gambar 4.10 Diagram Nilai Kekerasan

4.4.3 Pengaruh Variasi Temperatur Pemanasan Kembali Terhadap Struktur Mikro

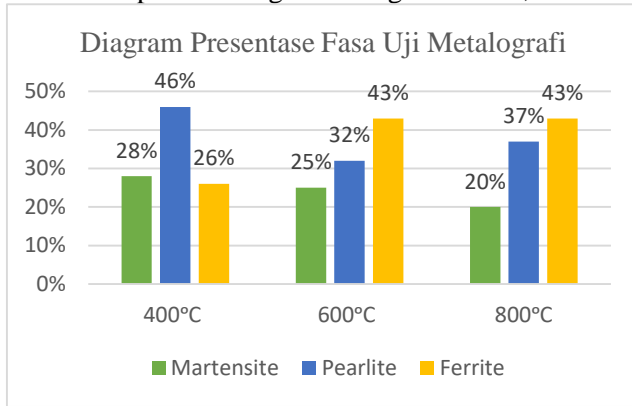
Setelah dilakukan proses laku panas tempering tempa dan tanpa tempa, untuk mengobservasi dilakukan pengamatan struktur mikro untuk mengetahui fase

penyusunan dan *grain size* dari setiap spesimen uji. Dengan pengambilan foto menggunakan mikroskop optis struktur mikro pada satu titik dengan perbesaran 100x dengan lensa objektif.

Tabel 4.13 Data hasil uji metalografi

Suhu	Perlakuan	Gambar	Fasa%
400°C	Tempa		Martensite 28% Pearlite 46% Ferrite 26%
600°C	Tempa		Martensite 25% Pearlite 32% Ferrite 43%
800°C	Tempa		Martensit 20 % Pearlite 37% Ferrit 43%

Dari data pengujian metalografi pada tabel diatas maka akan diperoleh diagram sebagai berikut ;



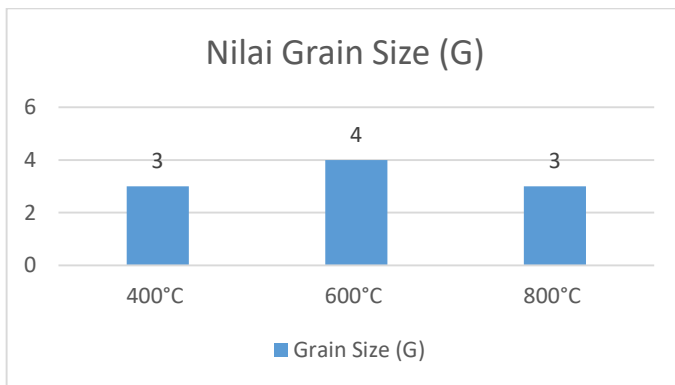
Gambar 4.11 Diagram Presentase Fasa Uji Metalografi suhu 400°C, 600°C Dan 800°C

Dilihat dari tabel diatas, berdasar ASTM E562 maka didapat jumlah fasa yang terbentuk pada benda uji yang diberi laku panas hardening pada temperatur 900°C dan holding time 30 menit dengan media pendingin air. Dilihat dari struktur mikro hardening dilakukan pemanasan ulang tiga variasi suhu. Dari data diatas pada material suhu tempering 400°C mempunyai presentase martensit 28% serta pearlite 46% dan ferrite 26%, sedangkan material yang dilakukan tempering dengan suhu 600°C memiliki presentase martensit 25% serta pearlite 32% dan ferrite 43%. Pada perlakuan tempering dengan suhu 800°C memiliki presentase struktur mikro martensit 20%, pearlite 37% dan ferrite 43%.

Dari hasil pengujian metalografi diatas, berdasarkan ASTM E112 maka didapat nilai besar butir (Grain Size) yang terbentuk pada tabel berikut :

Tabel 4.14 Nilai Besar Butir Struktur Mikro Material Tempering

Benda Uji	Perlakuan	Grain Size Number (G)	Average Diameter (mm)
400°C	Tempa	3	0.1270
600°C	Tempa	4	0.0898
800°C	Tempa	3	0.1270



Gambar 4.12 Diagram nilai grain size (G) metalografi

Dari data nilai besar butir dapat diketahui bahwa dengan suhu tempering 600°C memiliki butiran yang lebih besar dibanding dua variasi suhu tempering lain. Sedangkan material yang di tempering dengan suhu 400°C dan 800°C memiliki besar butiran sama.

4.5 Pembahasan

Perlakuan panas atau heat treatment adalah kombinasi operasi pemanasan pada logam di bawah temperatur lebur logam tersebut dan pendinginan terhadap logam atau paduan dalam keadaan padat dengan waktu tertentu [Avner, 1974]. Hal ini dimaksudkan untuk memperoleh sifat yang diinginkan dengan merubah struktur mikronya. Struktur yang terjadi pada akhir suatu proses laku panas, selain ditentukan oleh komposisi kimia dari material dan proses laku panas yang dialami juga ditentukan oleh

struktur awal material. Paduan dengan komposisi kimia yang sama, dan mengalami proses laku panas yang sama, mungkin akan menghasilkan struktur mikro dan sifat yang berbeda bila struktur awal materialnya berbeda. Dapat diketahui perubahan yang terjadi pada perbandingan **tabel 4.4** dan **tabel 4.9**. Spesimen yang dihardening diketahui kekerasannya bertambah karena struktur mikro martensit meningkat sedangkan struktur mikro ferrite menurun hal ini dapat diketahui dari **tabel 4.5** dan **tabel 4.10**. Perubahan kekerasan dan struktur mikro ini dikarenakan pemanasan yang melebihi suhu kritis 723°C , dan melalui pendinginan cepat sehingga struktur asutunit yang ada pada saat melewati suhu kritis lalu didinginkan cepat tidak dapat kembali semua ke ferrite melainkan berubah ke martensit lebih jelasnya dapat dilihat pada **gambar 2.3**.

Menurut Suroto dan Sudibyo (1983), menyebutkan tempering adalah proses pemanasan kembali suatu logam yang telah dikeraskan melalui proses quenching pada suhu di bawah suhu kritisnya selama waktu tertentu dan didinginkan secara perlahan-lahan. Tujuan proses ini adalah untuk mengurangi internal stress, mengubah susunan, mengurangi kekerasan dan menaikkan keuletan logam sehingga didapatkan perpaduan yang tepat antara kekerasan dan keuletan logam uji. Pada hasil pengujian tempering suhu 800°C **tabel 4.15** setelah perlakuan hardening **tabel 4.10** memiliki kekerasan yang paling mendekati kekerasan material awal **tabel 4.4**. pengujian kekerasan dilakukan dengan indenter skala B (baja karbon rendah) dan skala C (baja perlakuan) pada **tabel 2.1**. uji metalografi merupakan suatu metode untuk menyelidiki struktur logam dengan menggunakan mikroskop optis dengan perbesaran 50 – 3000 kali. Sedangkan struktur yang terlihat pada mikroskop tersebut tersebut disebut mikrostruktur. Pengamatan tersebut dilakukan terhadap spesimen yang telah diproses sehingga bisa diamati dengan pembesaran tertentu. Dalam pengujian kali ini digunakan perbesaran yang terdapat pada pengaturan mikroskop optik laboratorium metalurgi departemen teknik mesin industri ITS **gambar 3.5** yaitu perbesaran 50 kali.

Pengamatan dilakukan bertahap dari material uji awal, material hardening lalu material variasi suhu tempering. Pantulan

sinar yang dihasilkan dapat dilihat pada **gambar 2.6**. setelah diketahui gambar yang terlihat pada komputer maka dapat dihitung presentase struktur mikro dengan garis bantu **gambar 2.7** dibantu dengan rumus pada **subbab 2.7.1**. uji impak dilakukan untuk mengetahui energi yang dapat diserap benda uji. Dalam hal ini energi didapat dari suatu bandul yang mempunyai ketinggian tertentu dan berayun memukul benda uji, berkurangnya energi potensial dari bandul sebelum dan sesudah memukul benda uji merupakan energi yang dapat diserap oleh benda uji tersebut. Takik atau notch memegang peranan yang penting terhadap kekuatan impak suatu material. Dua buah benda yang mempunyai luas penampang, penahan beban yang sama bisa mempunyai kekuatan impak yang selalu jauh berbeda akibat perbedaan bentuk takik yang dimiliki. Adanya takikan pada benda kerja yang bisa berupa bentuk konfigurasi hasil desain, pengerjaan yang salah seperti diskontinuitas pada pengelasan atau korosi lokal yang bisa bersifat sebagai pemusat tegangan (*stress concentration*). Kekuatan Impak suatu bahan didefinisikan sebagai energi yang digunakan untuk mematahkan batang uji dibagi dengan luas penampang pada daerah takikan. energi untuk mematahkan batang uji dihitung berdasarkan berat dan ketinggian ayunan pendulum sebelum dan setelah impak hasil dapat dilihat pada **tabel 4.3**, **tabel 4.8** dan **tabel 4.13**. pengujian dilakukan dengan metode charpy, setelah penempatan benda uji pada penyangga dengan tepat, kemudian bandul dilepaskan sehingga batang uji akan melayang (jatuh akibat gaya gravitasi). Bandul ini akan memukul benda uji yang diletakkan semula dengan energi yang sama. Energi bandul akan diserap oleh benda uji yang dapat menyebabkan benda uji patah tanpa deformasi (getas) atau pun benda uji tidak sampai putus yang berarti benda uji mempunyai sifat keuletan yang tinggi. Permukaan patah membantu untuk menentukan kekuatan impact dalam hubungannya dengan temperatur transisi bahan. Daerah transisi yaitu daerah dimana terjadi perubahan patahan ulet ke patahan getas. sesuai **gambar 2.16** jika terjadi patahan dengan sudut takik yang kecil maka kebanyakan termasuk patahan brittle sedangkan jika nilai takikan tinggi maka terjadi patahan ductile karena struktur tidak merata, buram dan berserat **subab 2.8.4**.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa data hasil pengujian impak, kekerasan dan struktur mikro mengenai pengaruh reforming dengan tiga variasi suhu terhadap baja SM490, dapat disimpulkan bahwa :

- 1) Hasil pengujian impak menunjukkan bahwa benda uji yang dilaku panas pada suhu 600°C mempunyai kekuatan impak yang hampir mendekati dengan materail awal yaitu sebesar 2,096 Joule/mm². Sedangkan pemanasan yang dilakukan pada temperatur 800°C mempunyai kekuatan impak yang paling kecil yaitu sebesar 1,690 Joule/mm², dan hasil dari temperatur 400°C tidak jauh berbeda dengan temperatur tempering 800°C yaitu 1,717 joule/mm².
- 2) Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa benda uji yang dilaku panas kembali pada temperatur 800°C memiliki kekerasan yang paling mendekati dengan kondisi awal bahan yaitu 93,6 HRB, sedangkan nilai kekerasan yang paling tinggi dihasilkan dari pemanasan pada temperatur 400°C yang memiliki nilai kekerasan sebesar 96,7 HRB..
- 3) Hasil pengujian metalografi menunjukan bahwa benda uji yang dipanaskan kembali dengan temperatur 400°C mempunyai presentase struktur mikro martensit 28% serta pearlite 46% dan ferrite 26%, sedangkan material yang dilakukan tempering dengan suhu 600°C memiliki presentase martensit 25% serta pearlite 32% dan ferrite 43%. Pada perlakuan tempering dengan suhu 800°C memeiliki presentase struktur mikro martensit 20%, pearlite 37% dan ferrite 43%.
- 4) Jadi temperatur pemanasan yang tepat untuk melakukan *reforming* agar kekuatan impak, nilai kekerasan dan struktur mikro material tidak berubah secara signifikan dari material awal didapat tiga point:

- Dari data hasil pengujian impak pada benda kerja dengan tempering 600°C merupakan temperatur yang paling tepat untuk melakukan reforming.
- Pada pengujian kekerasan material dengan suhu tempering 800°C adalah yang paling mendekati kekerasan material awal.
- Dari data struktur mikro pengujian metalografi suhu tempering yang paling mendekati struktur mikro material awal adalah suhu 800°C

5.2 Saran

- 1) Pada penelitian ini hanya mengetahui perbedaan antara kekuatan impak, nilai kekerasan dan struktur mikro pada spesimen untuk menentukan temperatur yang terbaik untuk proses reforming.
- 2) Pada penelitian ini pengujian dilakukan dengan simulasi hardening. Diharapkan untuk selanjutnya dilakukan pengujian sesuai metodologi di lapangan agar data yang diharapkan bisa lebih akurat.

LAMPIRAN

- 1) Perhitungan energi impact dan kekuatan impact mengacu dengan rumus yang ada pada bab 2

A. Material Awal (Spesimen 1)

$$W = 131,7 \text{ Kgf} ; L = 0,60\text{m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 4^\circ ; A = 65 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha) \\ &= 131,7 \text{ Kgf} \times 0,60\text{m} (\cos 4^\circ - \cos 140^\circ) \\ &= \mathbf{139,352 \text{ Joule}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} IS &= \frac{E}{A} \\ &= \frac{139,352 \text{ Joule}}{65 \text{ mm}^2} \\ &= \mathbf{2,1438 \text{ Joule/ mm}^2} \end{aligned}$$

B. Material Awal (Spesimen 2)

$$W = 13,17\text{Kg} ; L = 0,60\text{m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 5^\circ ; A = 60 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} E &= W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha) \\ &= 13,17 \text{ Kgf} \times 0,60\text{m} (\cos 5^\circ - \cos 140^\circ) \\ &= \mathbf{139,241 \text{ Joule}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} IS &= \frac{E}{A} \\ &= \frac{139,241 \text{ Joule}}{60 \text{ mm}^2} \\ &= \mathbf{2,3206 \text{ Joule/mm}^2} \end{aligned}$$

C. Material Awal (Spesimen 3)

$$W = 131,7 \text{Kgf} ; L = 0,60 \text{m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 5^\circ ; A = 74 \text{ mm}^2$$

$$E = W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha)$$

$$= 13,17 \text{ Kgf} \times 0,60 \text{m} (\cos 5 - \cos 140)$$

$$= \mathbf{139, 241 \text{ Joule}}$$

$$IS = \frac{E}{A}$$

$$= \frac{139,241 \text{ Joule}}{74 \text{ mm}^2}$$

$$= \mathbf{1, 8816 \text{ Joule/ mm}^2}$$

- Nilai energi impak rata-rata sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material awal = **139, 278 Joule**
- Nilai kekuatan impak rata-rata sesuai dengan perhitungan yang mengacu bab 2 untuk material awal = **2, 114 Joule/mm²**

D. Material pemanasan temperatur *hardening*

$$W = 131,7 \text{Kg f} ; L = 0,60 \text{m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 53^\circ ; A = 74 \text{ mm}^2$$

$$E = W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha)$$

$$= 131,7 \text{ Kgf} \times 0,45 \text{m} (\cos 53 - \cos 140)$$

$$= \mathbf{108, 083 \text{ Joule}}$$

$$\begin{aligned}
 IS &= \frac{E}{A} \\
 &= \frac{108,083 \text{ Joule}}{74 \text{ mm}^2} \\
 &= \mathbf{1,460 \text{ Joule/ mm}^2}
 \end{aligned}$$

E. Material pemanasan temperatur 400°C

$$W = 131,7 \text{ Kg} ; L = 0,60 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 41^\circ ; A = 70 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 E &= W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha) \\
 &= 131,7 \text{ Kg} \times 0,60 \text{ m} (\cos 41 - \cos 140) \\
 &= \mathbf{120,165 \text{ Joule}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 IS &= \frac{E}{A} \\
 &= \frac{120,165 \text{ Joule}}{70 \text{ mm}^2} \\
 &= \mathbf{1,716 \text{ Joule/ mm}^2}
 \end{aligned}$$

F. Material pemanasan temperatur 600°C

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,60 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 19^\circ ; A = 64,5 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 E &= W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha) \\
 &= 13,17 \text{ Kg} \times 0,60 \text{ m} (\cos 19 - \cos 140) \\
 &= \mathbf{135,242 \text{ Joule}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 IS &= \frac{E}{A} \\
 &= \frac{135,242 \text{ Joule}}{64,5 \text{ mm}^2} \\
 &= \mathbf{2,096 \text{ joule/ mm}^2}
 \end{aligned}$$

G. Material pemanasan temperatur 800°C

$$W = 13,17 \text{ Kg} ; L = 0,60 \text{ m} ; \alpha = 140^\circ ; \beta = 43^\circ ; A = 70 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 E &= W.L (\text{Cos}\beta - \text{Cos}\alpha) \\
 &= 13,17 \text{ Kg} \times 0,60 \text{ m} (\cos 43 - \cos 140) \\
 &= \mathbf{118,316 \text{ joule}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 IS &= \frac{E}{A} \\
 &= \frac{118,316 \text{ Joule}}{70 \text{ mm}^2} \\
 &= \mathbf{1,690 \text{ joule/ mm}^2}
 \end{aligned}$$

2) Tabel konversi kekerasan (source: *engineers handbook*)

Hardness Conversion Table				
Tensile Strength (N/mm ²)	Brinell Hardness (BHN)	Vickers Hardness (HV)	Rockwell Hardness (HRB)	Rockwell Hardness (HRC)
285	86	90		
320	95	100	56.2	
350	105	110	62.3	
385	114	120	66.7	
415	124	130	71.2	
450	133	140	75.0	
480	143	150	78.7	
510	152	160	81.7	
545	162	170	85.0	
575	171	180	87.1	
610	181	190	89.5	
640	190	200	91.5	
675	199	210	93.5	
705	209	220	95.0	
740	219	230	96.7	
770	228	240	98.1	
800	238	250	99.5	
820	242	255		23.1
850	252	265		24.8
880	261	275		26.4
900	266	280		27.1

930	276	290		28.5
950	280	295		29.2
995	295	310		31.0
1030	304	320		32.2
1060	314	330		33.3
1095	323	340		34.4
1125	333	350		35.5
1155	342	360		36.6
1190	352	370		37.7
1220	361	380		38.8
1255	371	390		39.8
1290	380	400		40.8
1320	390	410		41.8
1350	399	420		42.7
1385	409	430		43.6
1420	418	440		44.5
1455	428	450		45.3
1485	437	460		46.1
1520	447	470		46.9
1555	456	480		47.7
1595	466	490		48.4
1630	475	500		49.1
1665	485	510		49.8

DAFTAR PUSTAKA

1. ASTM International Standard E-18, Standart Test Method for Rockwell Hardness Supercifal Hardness of Metallic Material.
2. ASTM International Standard E-23, Standart Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials.
3. Avner, H, S. 1974. Introduction to Physical Metallurgy. 2nd edition, New York; Mc Graw Hill International Editions.
4. Callister, D.William dan David G.Rethwisch. 2013 Material Science and Engineering. 9th edition, United States Of America: Wiley Binder
5. Gunawan Dwi. 2006. Pengaruh Tempering Terhadap Kekerasan, Kekuatan Tarik dan Struktur Mikro Pada Baja K-460. Jurnal Universitas Diponegoro
6. Lagiyo, Suwandono, Mukhamad Masykur. 2011. Pengaruh Temperatur Terhadap Sifat Mekanik Pada Baja Karbon Sedang ST 60. Jurnal Universitas Pancasakti Tegal
7. Thelning, K.E. 1984. Steel and It's HeatTreatment. 2nd editon. Butterworths. London.

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara yang dilahirkan pada tanggal 17 Mei 1996 di Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Pendidikan formal yang pernah ditempuh meliputi SDN Masangan Kulon 364, Sidoarjo, SMPN 1 Taman, Sidoarjo, SMAN 15 Surabaya. Setelah itu penulis meneruskan pendidikan tingkat perguruan tinggi di Program Studi D3 Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember dan mengambil bidang studi Manufaktur.

Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT INKA Madiun yang ditempatkan pada divisi *quality control*. Dari kerja praktek itulah penulis mendapatkan tema untuk mengerjakan Tugas Akhir ini. Bagi pembaca yang ingin lebih mengenal penulis dan ingin berdiskusi lebih luas lagi dapat menghubungi E-mail: ghifarias27@gmail.com